

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Davor Pinturić

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Mladen Šercer, dipl. ing.

Student:

Davor Pinturić

Zagreb, 2015.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum 07-07-2015.ilog
Klasa: 602-04/15-6/3
Ur.broj: 15-1703-15-189

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Davor PINTURIĆ**

Mat. br.: 0035173991

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Procjena utjecaja životnog ciklusa proizvoda na okoliš**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Assessing the impact of product life cycle on the environment**

Opis zadatka:

Procjena životnog ciklusa postala je jedna od najvažnijih metoda vrednovanja utjecaja proizvoda na okoliš. S tom kompleksnom analitičkom metodom nastoji se dobiti uvid u cijeli životni ciklus proizvoda, što uključuje pridobivanje sirovina, energijskih izvora, proizvodnju i distribuciju potrebne energije, proizvodnju poluproizvoda, proizvoda i nusproizvoda, transport i distribuciju, utjecaje tijekom primjene i druge mogućnosti postupanja s proizvodom nakon uporabe, pri čemu je krajnji cilj izbor puta koji najmanje opterećuje okoliš.

U radu je potrebno opisati metodologiju procjene životnog ciklusa te s pomoću dostupnog softvera usporediti utjecaj na okoliš nekoliko proizvoda načinjenih od različitih materijala za istu namjenu.

Zadatak zadan:

7. svibnja 2015.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Mladen Šercer

Rok predaje rada:

9. srpnja 2015.

Predviđeni datum obrane:

15., 16. i 17. srpnja 2015.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Franjo Cajner

Izjavljujem kako sam ovaj rad izradio samostalno koristeći se stečena znanjima tijekom studija i navedenom literaturom

Zahvaljujem prof. dr. sc. Mladenu Šerceru na savjetima i prihvatanju zamisli kada sam predložio izradbu ovog rada, također zahvaljujem mr. sc. Maji Rujnić-Sokele na stručnim savjetima, ustupljenoj literaturi i utrošenom vremenu.

Davor Pinturić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	IV
POPIS MJERNIH JEDINICA.....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. LCA METODA	2
2.1. Povijest i razvoj LCA metode	4
2.2. Pregled ISO normi	5
3. PROCES IZRADBE LCA ANALIZE.....	11
3.1. Metodologija LCA	15
3.1.1. Određivanje cilja i obujma LCA analize.....	16
3.1.2. Analiza inventara – LCI faza	19
3.1.3. Procjena utjecaja na okoliš – LCIA	20
3.1.4. Tumačenje rezultata	23
4. RAČUNALNI ALAT ZA LCA ANALIZU	25
4.1. IMPACT 2002+ metoda procjene utjecaja na okoliš.....	27
5. LCA ANALIZA ODABRANIH PROIZVODA	35
5.1. Polipropilen.....	31
5.2. Polietilen visoke gustoće.....	33
5.3. Poli(etilen-tereftalat)	34
5.4. Cilj i obujam LCA analize	35
5.5. Analiza inventara (LCI)	36
5.5.1. Proizvodnja	16
5.5.2. Transport	41
5.5.3. Uporaba proizvoda i kraj životnog vijeka.....	41
5.5.3.1. Mehanička uporaba.....	42
5.6. Procjena utjecaja na okoliš – LCIA analiza	50
5.6.1. Procjena utjecaja bočica na okoliš	50
5.7. Tumačenje rezultata	63
6. ZAKLJUČAK	74
LITERATURA.....	75

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Faze životnog vijeka proizvoda	3
Slika 2.2. Okolišne oznake tip I – ISO 14024	7
Slika 2.3. Okolišne oznake tip II – ISO 14021	8
Slika 2.4. Okolišne deklaracije tip III– ISO 14025	8
Slika 2.5. Postupak stvaranja PCR pravilnika	9
Slika 2.6. Postupak stvaranja EPD deklaracije	10
 Slika 3.1. Ciljevi LCA metode u vezi s održivim razvojem	12
Slika 3.2. Granice industrijskog sustava	15
Slika 3.3. Metodologija LCA s uzajamnim zavisnostima	16
 Slika 4.1. Kategorije utjecaja metode IMPACT 2002+	27
Slika 4.2. Prikaz definicije proizvoda u bazi Ecoinvent	30
 Slika 5.1. Bočice od PP-a, PE-HD-a i PET-a	31
Slika 5.2. Shematski prikaz makromolekule polipropilena	32
Slika 5.3. Kemijska struktura polietilena	33
Slika 5.4. Kemijska struktura PET-a	34
Slika 5.5. Granice sustava	35
Slika 5.6. Ekstruzijsko puhanje	37
Slika 5.7. Integrirano injekcijsko puhanje	39
Slika 5.8. Postrojenje za regeneriranje jako onečišćenog plastičnog otpada	43
Slika 5.9. Postrojenje za pravljenje izravno prešanih otpresaka od otpadne plastike	44
Slika 5.10. Prikaz životnog vijeka PP bočice	52
Slika 5.11. Životni vijek PE-HD bočice	62
Slika 5.12. Životni vijek PET bočice	64
Slika 5.13. Utjecaj na globalno zagrijavanje	67
Slika 5.14. Smanjenje ozonskog sloja	67
Slika 5.15. Otrovnost po čovjeka	68
Slika 5.16. Fotokemijska oksidacija	68
Slika 5.17. Utjecaj na dišne organe	69
Slika 5.18. Ionizirajuće zračenje	69
Slika 5.19. Acidifikacija	70
Slika 5.20. Povećanje kiselosti tla	70
Slika 5.21. Povećanje kiselosti vode	71
Slika 5.22. Eutrofikacija vode	71
Slika 5.23. Potrošnja vode	72
Slika 5.24. Korištenje resursa i neobnovljivih izvora energija te vađenje sirovina	72

POPIS TABLICA

Tablica 3.1. Prikaz razvrstavanja osnovnih tokova	21
Tablica 3.2. Primjer karakterizacije osnovnih tokova	21
Tablica 3.3. Primjer normalizacijskih vrijednosti	22
Tablica 4.1. Dio sastavnih dijelova metode IMPACT 2002+	28
Tablica 5.1. Svi tokovi u sustavu	57
Tablica 5.2. Svi tokovi u sustavu (nastavak).....	58
Tablica 5.3. Slabe točke sustava.....	60
Tablica 5.4. Slabe točke sustava (PE-HD)	63
Tablica 5.5. Slabe točke sustava (PET).....	65

POPIS OZNAKA

LCA	<i>Life Cycle Assessment</i> – Procjena utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš
MBO	Mehaničko-biološka obradba
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i> – Društvo za okolišnu otrovnost i kemiju
UNEP	<i>United Nation Environmental Programme</i> – Okolišni program Ujedinjenih Naroda
EU	Europka unija
ISO	<i>International Standardization Organisation</i> – Međunarodna organizacija za normizaciju
PCR	<i>Product Category Rules</i> – Pravila kategorizacije proizvoda
EPD	<i>Environmental Product Declaration</i> – Okolišna deklaracija proizvoda
PO	<i>Programme Operator</i> – Programsko vijeće
PSR	<i>Product Specific Requirements</i> – Specifični zahtjevi proizvoda
LCM	<i>Life Cycle Management</i> – Upravljanje životnim ciklusom
LCI	<i>Life Cycle Inventory</i> – Analiza inventara životnog vijeka
LCIA	<i>Life Cycle Inventory Analysis</i> – Procjena utjecaja na okoliš
KPI	<i>Key Process Indicators</i> – Ključni pokazatelji procesa
ELCD	<i>European reference Life Cycle Database</i> – Europska baza podataka životnih ciklusa
EPFL	Švicarski institut za tehnologiju u Lausanni

ILCD	<i>International Reference Life Cycle Data System</i> – Međunarodni sustav podataka o životnom vijeku
IMPACT	<i>Impact Assessment of Chemical Toxics</i> – Procjena utjecaja toksičnosti
PP	Polipropilen
PE-HD	Polietilen visoke gustoće
PE-LD	Polietilen niske gustoće
PE-LLD	Linearni polietilen niske gustoće
PE-MD	Polietilen srednje gustoće
PE-VLD	Polietilen vrlo niske gustoće
PET	Poli(etilen-tereftalat)

POPIS MJERNIH JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
m	kg	masa
E	kWh	električna energija
R_m	Nmm^{-2}	rastezna čvrstoća
R_p	Nmm^{-2}	prekidna čvrstoća
R_r	Nmm^{-2}	granica razvlačenja
R_x	Nmm^{-2}	konvencionalna granica razvlačenja
ε_{el}	%	elastična deformacija
ε_k	%	konačno istezanje
ε_p	%	prekidno istezanje
ε_u	%	ukupno istezanje
ε_x	%	dogovorena vrijednost trajnog istezanja
ϑ_d	°C	razgradište
ϑ_f	°C	tečište
ϑ_g	°C	staklište
ϑ_m	°C	talište
ϑ_{po}	°C	temperatura postojanosti oblika

SAŽETAK

Predstavljena je metoda procjene utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš (LCA). Dan je prikaz povijesnog razvoja i pokušaja pronalaska načina kako obuhvaćanjem unosa i iznosa koji utječu na proizvod i proizvodnju istog smanjiti opterećenje i štetu koju proizvode na okoliš. Također je prikazana i ISO normizacija.

Objašnjen je postupak provedbe analize te sve bitne pretpostavke i posljedice koje vode do konačnog rezultata analize.

Za potrebe provedbe LCA analize razvijeni su i brojni računalni alati, od kojih je prikazan primjer računalnog alata *Gabi*.

Nakon opisa opće LCA metodologije i opisa samih proizvoda, prikazana je provedba LCA analize na primjeru tri odabrana proizvoda.

POPIS KLJUČNIH RIJEČI

LCA, proizvod, okoliš, proizvodnja

SUMMARY

In this paper is presented a method for estimating the environmental impact of product life cycle assessment (LCA). Method provides an overview of the historical development and attempts to find ways to reduce inputs and outputs that influence the product and production by reducing the enviromental damage. Also the ISO standardization is given.

The procedure for carrying out analysis and all relevant assumptions and consequences that bring the final result of the analysis is explained.

For the implementation of the LCA analysis a number of computer tools have been developed, one of which is an example of a software tool *Gabi*. After describing the general LCA methodology and description of the products, the implementation of the LCA analysis on the example of three selected products is made.

KEYWORDS

LCA, product, environment, production

1. UVOD

Razvojem industrije i tehničkim napredkom došlo je do sve većeg, donekle nužnog, a počesto i nepotrebnog prožimanja pučanstva utjecajem potrošačkog društva i konzumerizma. Posljedica koja iz toga proizlazi je utjecaj industrije na okoliš u kojem živimo. Mnogi od nas prilikom kupnje pojedinog proizvoda često nisu svjesni na koji način može životni ciklus nekog proizvoda utjecati na okoliš, tj ni ne pomislimo kako je proizveden, koliko je energije i kakve vrste sirovina je utrošeno na izradbu, te kakve je posljedice sve to ostavilo na okoliš. Porastom svijesti o očuvanju okoliša počinju se događati promjene u samom našem odnosu prema prirodi, industriji i gospodarenju resursima, sirovinama, materijalima te energijom.

Procjena utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš (*Life cycle assessment*) uključuje sve utjecaje na okoliš koji se mogu pojaviti tijekom djelatnosti, te pokriva sve faze vezane uz proizvod, materijal ili uslugu. Metoda nastoji obuhvatiti sve promjene na proizvodu ili materijalu, te je potrebno razumijeti izvore, načine, pravila i posljedice izradbe, uporabe i zbrinjavanja odabranog proizvoda.

2. LCA METODA

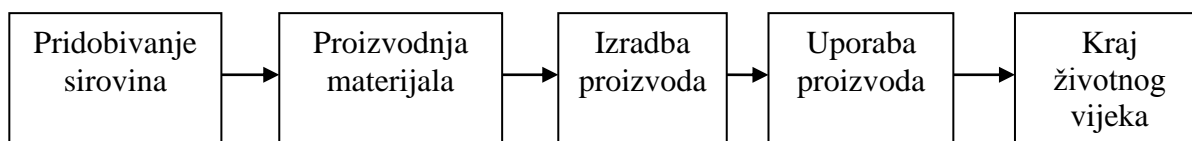
Procjena utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš (*LCA – Life-Cycle assessment*) je metoda kojom se određuje utjecaj na okoliš svih djelatnosti vezanih uz neki proizvod (od nabave sirovina, proizvodnje, uporabe, popravka, održavanja, zbrinjavanja, uporabe). Primjenjuje se u svrhu odabira odgovarajućeg sustava nabave, proizvodnje, gospodarenja otpadom, te daje pregled troškova različitih sustava čime se omogućuje usporedba utjecaja na okoliš. Stoga LCA uključuje sve utjecaje na okoliš koji se mogu pojaviti tijekom djelatnosti, te pokriva sve faze vezane uz proizvod, materijal ili uslugu. Metoda nastoji obuhvatiti sve promjene na proizvodu ili materijalu, zbog toga je LCA najbolje primjenjiva za procjenu životnog vijeka proizvoda. LCA se temelji na velikom broju podataka, čiji rezultati trebaju biti pokazani tako da bi se olakšalo praćenje podataka do izvora zbog jednostavnije procjene. Zajedno s ekonomskom procjenom, LCA procjena resursa i sustava gospodarenja otpadom predstavlja temelj za mjestnu, pokrajinsku i državnu upravu u područjima kao što su: [1, 2, 3, 4, 5]

- procjena mogućih utjecaja na okoliš nekog resursa i sustava gospodarenja otpadom
- davanje informacija o tome koji resurs ima najveći utjecaj, te je time i prioritet zajednice
- odabir odgovarajućeg načina gospodarenja otpadom (npr spaljivanje, MBO, uporaba, odlaganje).

U mnogim slučajevima LCA pruži podršku raznim subjektima (poslovnim, proizvodnim) tijekom procesa odlučivanja u svim fazama životnog ciklusa. Osnovna funkcija LCA metode je priprema informacija na temelju kojih se donose poslovne odluke usmjerene na najmanje moguće opterećenje okoliša, a često je osnovni cilj dobivanja rezultata stvaranje ugleda poduzeća u javnosti. Djelatnost u smislu podrške i provedbe LCA metode podrazumijeva sposobnost komuniciranja utjecaja proizvoda i procesa na okoliš. [3, 4]

Analitičkom metodom nastoji se dobiti uvid u cijeli životni ciklus proizvoda, što uključuje pridobivanje sirovina, energijskih izvora, proizvodnju i raspodjelu potrebne energije, proizvodnju poluproizvoda, proizvoda i nusproizvoda, prijevoz i raspodjelu, utjecaje tijekom

primjene i alternativne mogućnosti postupanja s proizvodom nakon uporabe, pri čemu je krajnji cilj izbor puta koji najmanje opterećuje okoliš. (slika 2.1)



Slika 2.1. Faze životnog vijeka proizvoda [5]

Utjecaj proizvoda na okoliš očituje se kroz prirodne resurse koji se troše, emisije štetnih tvari koje se stvaraju, te količinu energije koja se troši za proizvod u svim fazama životnog ciklusa proizvoda. Utjecaji mogu biti pozitivni i negativni. Uglavnom su utjecaji negativni, osim u situacijama kada od proizvoda dobivamo nazad materijal ili energiju, kao što je to slučaj kod recikliranja ili spaljivanja otpada. Svaki proces na kraju životnog vijeka proizvoda (energijska ili mehanička uporaba) trebao bi omogućiti ponovno dobivanje jednake količine energije i materijala koga se na taj proizvod potrošilo. [4, 5]

Procjena utjecaja životnog ciklusa proizvoda na okoliš može pomoći u pronalasku rješenja za smanjenje utjecaja na okoliš i smanjivanje troškova. Sve više se u svijetu pridodaje važnost procjenjivanju sveukupnog utjecaja proizvoda, procesa i usluga na okoliš, kao i potrebi za smanjenjem zagađenja i iskorištenja prirodnih izvora. LCA pruža sredstva za provođenje takvih procjena. U razvijenim zemljama vlade se služe raznim načinima u pokušaju smanjivanja negativnog utjecaja na okoliš. Jedan od načina da se smanji utjecaj proizvoda na okoliš je nagrađivanje raznih proizvoda zbog toga što način proizvodnje i uporabe imaju vrlo mali štetan utjecaj na okoliš. Cilj je takvih nagrada promjena načina razmišljanja kupaca kada biraju proizvod koji žele kupiti, ali i konstruktora kada konstruiraju novi proizvod. Sve se više proizvođača hvali svojim zelenim proizvodima koji nisu štetni za okoliš jer znaju kako se kod sve većeg broja ljudi u svijetu budi svijest o očuvanju okoliša. U Europskoj uniji nagrada za takve proizvode se zove Eko-oznaka (*EcoLabel*) i LCA predstavlja osnovu za donošenje odluke o tome koji proizvod zaslužuje tu titulu. [4, 5] Organizacija koja primjenjuje osnove LCA metode mora već kod izbora ulaznih materijala uzeti u obzir ne samo to hoće li neki materijal biti u nekoj fazi života proizvoda razlog negativnog utjecaja na okoliš već i to donosi li proizvodnja ovog materijala negativan ekološki učinak. Ovaj pristup vodio je u

zemljama EU otvaranju djelatnosti razvoja, priznavanja i postupne primjene sustava ekološkog označavanja (*EcoLabel*), ne samo u samom proizvodnom sustavu, već i u odnosima s dobavljačima. Mnogo korisnika od svojih dobavljača izravno zahtijeva materijal s ekološkom oznakom, odnosno s jamstvom da pri njihovoj proizvodnji ne dolazi do smanjenja kvalitete životne sredine. U sličnom smjeru razvija se i odnos prema prijevozu, materijalima za ambalažu i slično.

2.1. Povijest i razvoj LCA metode

U cilju postizanja održivog razvoja i čim veće učinkovitosti i isplativosti, inženjeri i tehničari propitkuju i poboljšavaju učinkovitost proizvoda i usluga, a time i ukupnu korist samog procesa proizvodnje te koliko je energije potrebno kako bi se određeni proces proveo i postigao određeni cilj. Često se ispituju i posljedice koje određeni proces ima na okoliš te kako se mogu identificirati optimalni procesi u okviru načela održivosti.

Pitanje planiranja, projektiranja i raščlambe raznih proizvodnih i ostalih procesa postalo je izrazito kompleksno. U početku su uobičajene tehnike služile za procjenu i raščlambu proizvodnje određene jedinice proizvoda, uzimajući u obzir neposredne ulazne sirovine i energiju u proizvodnim sustavima. S vremenom su sve suvremenije i složenije tehnologije primjenjene u proizvodnji te je iste bilo potrebno analizirati što je zahtijevano unaprjeđenje metoda. [6, 7]

Prva istraživanja koja se bave procjenom utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš javljaju se kasnih šesdesetih godina prošlog stoljeća. Tvrtka *Coca-Cola* je novčano pomogla rad skupine koja je uspoređivala potrošnju sirovina i utjecaj ambalaže na okoliš (aluminjske limenke). Rezultat toga nije bio samo odabir optimalne ambalaže, već je *Coca-Cola* u suradnji s mjesnom upravom razvila sustav povrata iskorištene ambalaže i tako smanjila potrošnju energije 90 %. Tijekom sedamdesetih i osamdesetih godina došlo je pojave mnogih pristupa u svrhu smanjenja onečišćenja okoliša, no nisu bili potpuno učinkoviti jer su ti pristupi temeljeni na proučavanju jedne faze životnog vijeka proizvoda (kao npr. proizvodnja ili postupanje s otpadnim vodama). Osamdesetih godina 20. stoljeća LCA se pojavila kao alat za bolje razumijevanje opasnosti, prilika za poboljšanje i posebnosti proizvodnih sustava kao i njihovih utjecaja na okoliš. Isprva je pitanje energije imalo prednost pred gospodarenjem

otpadom i popratnim sadržajem, no energetsom krizom sedamdesetih godina 20. stoljeća to je pitanje izgubilo na važnosti. [8, 9]

Počeli su se rabiti pojmovi poput eko-bilanci, analize od kolijevke do groba, analize životnog ciklusa, itd. Prilikom prvog radnog skupa održanog 1990. pod pokroviteljstvom udruge SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) predložen je i usvojen naziv LCA. Nakon usvajanja naziva uslijedio je brz razvoj same metode i tijekom vremena, LCA se promehnula i razvila u interdisciplinarnu i analitičku metodu za procjenu utjecaja na okoliš. Izdane su smjernice za primjenu u javnom i ostalim sektorima proizvodnje i usluga. U razdoblju od 1997. do 2000. izdane su prve inačice niza međunarodnih ISO normi koji između ostalog određuju različite faze u LCA metodologiji. Izdavanje normi pokazalo se ključnim u smislu prepoznavanja važnosti uporabe metoda koje služe za upravljanje okolišnim politikama. U 2002., UNEP (*United Nations Environment Programme*) i SETAC osnivaju tzv. *Life Cycle* Inicijativu koja služi kao podrška razvoju i širenju LCA metodologije. Inicijativa se temelji na iskustvima u više zemalja EU, SAD-a i Japana. Cilj inicijative je pokretanje ljudi u smjeru sustavnog cjeloživotnog razmišljanja i djelovanja. Inicijativa se usredotočila na brzorastuće ekonomije u Aziji, Africi i Južnoj Americi. [9]

Uslijedile su pripreme za normizaciju, a sama normizacija je uspješno završena 1997. čime je LCA metoda dobila svoju normu oznake ISO 14040, a naknadnim razvojem i revizijom izrađen je konačna norma u obliku ISO 14044. [9, 10]

U zadnje vrijeme uzimanje u obzir životnog vijeka ima sve veću ulogu u stvaranju okolišnih politika. Sve više sudionika proizvodnih i poslovnih subjekata osjeća pritisak zajednice u smjeru smanjenja utjecaja na okoliš povezanog sa svjetskim iskorištenjem resursa. Međutim osim pritiska državnih ustanova postoji i onaj koji dolazi iz područja privatnog tvrtki. Tvrtke su prepoznale potrebu za preuzimanjem tih inicijativa na sebe.

2.2. Pregled ISO normi [11-16]

Glavne norme koji propisuju, odnosno tiču se LCA metodologije jesu:

- ISO 14040: LCA – Načela i zakonodavni okvir
- ISO 14044: LCA – Zahtjevi i smjernice
- ISO 14020: Okolišne oznake i deklaracije – Opća načela

- ISO 14024: Okolišne oznake i deklaracije – Okolišna oznaka Tip I
- ISO 14021: Okolišne oznake i deklaracije – Okolišna oznaka Tip II
- ISO 14025: Okolišne oznake i deklaracije – Okolišna oznaka Tip III

ISO 14040 propisuje radni okvir za izradu LCA analize, dok ISO 14044 specificira zahtjeve i smjernice za provedbu LCA studije. Za razliku od norme ISO 14001, nije moguće dobiti službenu akreditaciju koja potvrđuje kako je LCA analiza, LCA metodologija ili LCA računalni paket načinjen prema ISO normama što predstavlja poteškoće pri utvrđivanju je li LCA studija napravljena prema normi.

Najvažnija posljedice uporabe ISO norme je pažljivo dokumentiranje cilja i obujma te pretpostavke prilikom tumačenja. Subjekt koji provodi LCA analizu može istu provoditi na mnogo različitih načina sve dok pažljivo dokumentira što je u analizi učinjeno. Druga vrlo važna posljedica je potreba za ovjerom od strane neovisnih stručnjaka u slučaju tako određenih ciljeva (npr. komparativne analize namijenjene trećim stranama). Subjekt koji provodi LCA analizu ima pravo izbora želi li odstupati od ISO norme, no to ima za posljedicu teže uvjeravanje trećih strana u pouzdanost rezultata analize.

ISO 14040/44 je podloga mnogih drugih normi, npr. ISO 14020 propisuje i određuje opće zahtjeve na okolišne deklaracije. Okolišne deklaracije su najprije namijenjene kupcima kako bi bili informirani odnosno preuzeli odgovornost za provedbu kupnje proizvoda ili usluge u smislu njenih utjecaja na okoliš.

Postoje tri tipa oznaka i deklaracija s najvažnijom razlikom u subjektu koje izdaje odnosno ovjerava deklaraciju te za koju je namjenu deklaracija izrađena. Okolišne deklaracije su propisane pojedinim normama.

ISO 14024 određuje okolišne oznake tip I. Primjeri takvih oznaka dani su na slici 2.2. Tip I okolišne oznake karakteriziraju treće organizacije koje uspostavljaju kriterije koje proizvodi moraju zadovoljiti, te su obično u državnom vlasništvu (agencije, instituti i sl.). One temeljito ocjenjuju više faza životnog vijeka proizvoda poput proizvodnje, uporabe proizvoda, odlaganja, itd.



Slika 2.2. Okolišne oznake tip I – ISO 14024 [15]

ISO 14021 potanko određuje smjernice za izradbu okolišnih oznaka izdanih od strane proizvođača koje ne podliježu ovjeri od treće strane. Subjekti koji izdaju takvu deklaraciju moraju zadovoljiti određene stavke poput ispravnosti i točnosti prikaza rezultata, ovjere deklaracije s pomoću internih procesa, itd.

Bitno je napomenuti kako norma propisuje pod kojim se uvjetima mogu upotrebljavati često rabljeni pojmovi poput: kompostabilno (*e. compostable*), razgradljivo (*e. degradable*), produljeni životni vijek (*e. extended life product*), povraćena energija (*e. recovered energy*), moguće reciklirati (*e. recyclable*), sadržaj recikliranog materijala (*e. recycled content*), smanjena potrošnja energije (*e. reduced energy consumption*), smanjena uporaba resursa (*e. reduced resource use*), smanjena potrošnja vode (*e. reduced water consumption*), mogućnost ponovne uporabe (*e. reusable and refillable*), smanjenje otpada (*e. waste reduction*), obnovljivi materijal (*e. renewable material*), obnovljivi izvori energije (*e. renewable energy*).

LCA analize na temelju kojih je napravljena okolišna oznaka tip II ne podliježu pravilima kategorizacije proizvoda (PCR pravilima), no iskustvo pokazuje kako ih je preporučljivo slijediti kako bi korisnik analize znao pod kojim pretpostavkama je analiza rađena i to bez zahtijevanja dodatnih informacija od strane subjekta koju je tu deklaraciju odnosno LCA analizu izdao. Primjeri oznake tip II prikazani su na slici 2.3.



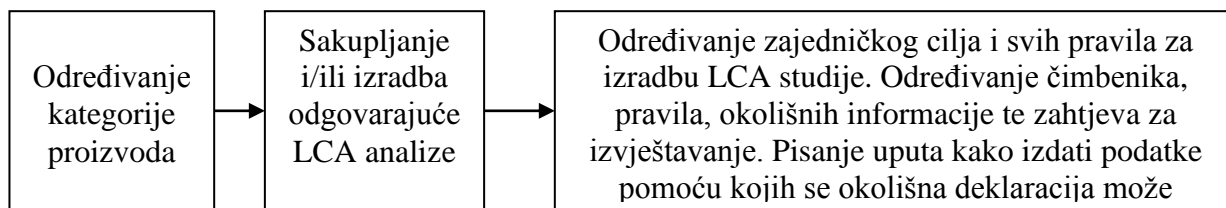
Slika 2.3. Okolišne oznake tip II – ISO 14021 [15]

ISO 14025 temelji se na normama ISO 14040/44 i 14020 i uvodi dva načela: PCR pravila (*Product category rules* – Pravila kategorizacije proizvoda) te EPD deklaracije (*Environmental Product Declaration* – Okolišna deklaracija proizvoda). Ta dva načela su smjernice za izračun okolišnog utjecaja za jednu vrstu proizvoda sa sličnim značajkama. Primjer deklaracije Tip III dan je na slici 2.4.



Slika 2.4. Okolišne deklaracije tip III– ISO 14025 [15]

Deklaracija tipa III temeljena je na ovjeri LCA analize od neovisne treće strane. LCA analiza mora biti načinjena potpuno u skladu s postojećim PCR pravilima. Bitno je napomenuti kako je razvoj EPD deklaracija postao jedan od najvažnijih ciljeva LCA analize. U pojedinim državama i pojedinim sektorima, stotine tisuća proizvoda imaju takve deklaracije. ISO 14020 daje smjernice za izradbu EPD deklaracija no one same po sebi nisu dovoljno potanko određene. Iz tog razloga određena su pravila kategorizacije proizvoda. Jednom kada je referentni PCR pravilnik izrađen, LCA analiza se izvršava prema specifikaciji u tom dokumentu. Generički proces stvaranja PCR pravilnika prema ISO 14025 prikazan je na slici 2.5.

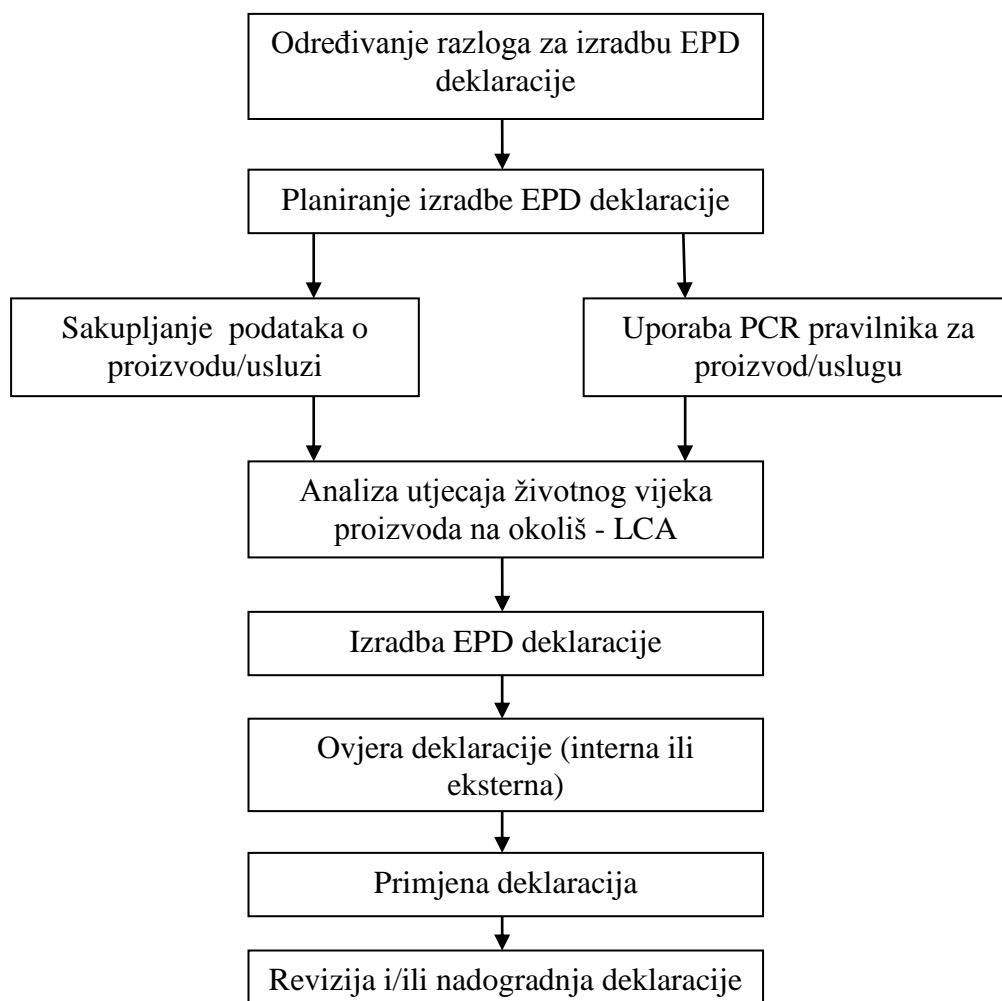


Slika 2.5. Postupak stvaranja PCR pravilnika [15]

PCR pravilnici sadrže stroge propise koji ne ostavljaju mnogo prostora za preinake LCA analize. Primjera radi, PCR pravilnik može specificirati referentnu jedinicu ili bazu podataka koja treba biti upotrebljena, kao i kategoriju utjecaja koja treba biti uključena u analizu. Slijedeći PCR pravilnik, tvrtka može načiniti svoju EPD deklaraciju prema normi ISO 14025 što je dokument koji sadrži relevantne informacije o okolišnom utjecaju.

Za stvaranje PCR pravilnika potrebno je odrediti referentno tijelo – PO (*e. Programme Operator*). To mogu biti skupine tvrtki, trgovinske organizacije ili državna tijela.

PCR pravilnici su se u prošlosti nazivali PSR (*e. Product Specific Requirements*-specificirani zahtjevi proizvoda) te su ti dokumenti međusobno sukladni. Na slici 2.6 je prikazan generički proces stvaranja EPD deklaracije uporabom PCR pravilnika.



Slika 2.6. Postupak stvaranja EPD deklaracije [16]

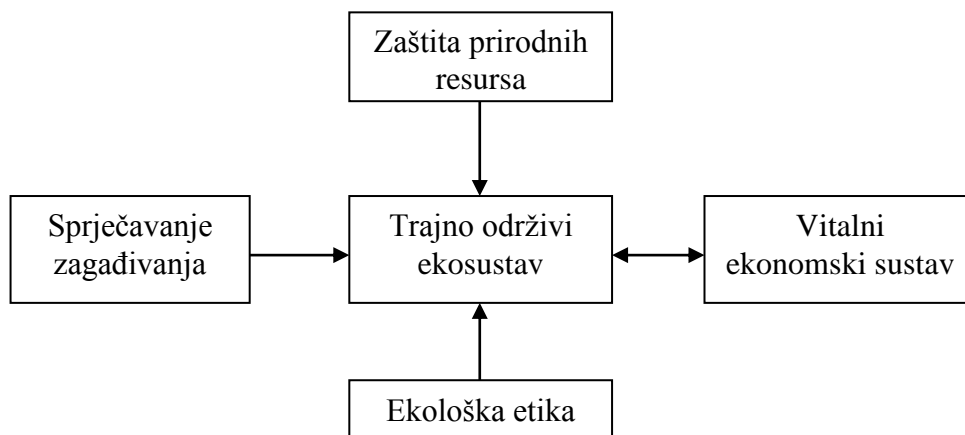
3. PROCES IZRADBE LCA ANALIZE

Neki vide LCA metodu kao konceptualni okvir, drugi kao praktičan alat, no oba gledišta su ispravna. Uporabljena na pravi način, LCA metoda pomaže u pravilnom odabiru ekološki prihvatljivog dizajna, proizvodnog sustava i uporabe. Tvrtke koje rabe metodu otkrivaju i nove pristupe optimizacije proizvodnog procesa, poboljšavaju proizvod, a ponekad i primjenjuju potpuno druge načine i postupke za novi proizvod ili uslugu. Održivi razvoj zahtijeva brza poboljšanja u ekološkoj učinkovitosti, kao i na onim poljima u kojima se iskorištava energija. Također se poboljšava ekološka učinkovitost uporabe širokog raspona materijala iz prirode, te kako smanjuje otpad. Navedeno se nadovezuje na tzv. zelenu tehnologiju. Nekada je proizvođač jednostavno prodavao i time predavao svoj proizvod u ruke kupca. U današnje vrijeme odgovornost proizvođača ne završava prolaskom proizvoda kroz vrata tvornice. Sama industrija kao i državne vlasti nameću i traže od proizvođača vraćanje uporabljenih proizvoda i naprava u svoj posjed kako bi se ponovno što veći dio mogao iskoristiti. Među novijim načelima LCA je i LCM (*e. Life cycle management*-upravljanje životnim ciklusom) koji omogućuje malim i srednjim poduzećima i proizvodnim pogonima smanjenje štetnog utjecaja svojih proizvoda, sustava i usluga na okoliš.

Ako se promatra cijeli životni vijek proizvoda, dobiva se kompleksna slika sa značajnim utjecajem ulaza i izlaza na zrak, vodu i tlo u svakoj fazi životnog vijeka proizvoda. Neki neočekivani utjecaji koji se prate (bilo pozitivni ili negativni) mogu biti vezani uz određene nusproizvode koji se javljaju tijekom izradbe. Naravno, uvijek postoji i mogućnost otkrića nove vrste onečišćenja. [1, 17, 18]

S obzirom na ukupni pogled na proizvod ili proces, ponekad se LCA analiza označuje kao analiza od kolijevke pa do groba (*e. from cradle to grave*). Što se tiče obuhvaćanja i obujma, ova značajka odgovara LCA analizi. Što se tiče sadržaja LCA, neophodno je njezino preciznije određivanje. LCA pruža sustavni okvir za prepoznavanje, analizu i planirano smanjenje negativnih ekoloških utjecaja u pojedinim fazama životnog ciklusa proizvoda. Vrlo je bitan alat pri stvaranju novih proizvoda, inovacija ili rekonstrukciji postojećih proizvoda, odnosno proizvodnih sustava. S pomoću LCA analize moguće je doći do novih informacija za odlučivanje, kako u području strategije, tako i za tekuće upravljanje poduzećem. To znači da je LCA analiza učinkovit oblik ekološke analize. [18, 19, 20]

LCA metoda postaje značajan prilog za trajno održivi razvoj, jer spaja ekonomske i ekološke učinke u sveukupnom shvaćanju cijelog proizvodnog i korisničkog sustava kao i sustava gospodarenja otpadom (slika 2.7).



Slika 3.1. Ciljevi LCA metode u vezi s održivim razvojem [20]

LCA se sastoji od sustavne procjene utjecaja na okoliš koji proizlaze iz proizvodnje odnosno pružanja usluge. Generičke LCA metode zahtijevaju uzimanje u obzir svih bitnih stavaka zajedno s materijalima, emisijama i energijom kojom se koriste u tim proizvodnim postupcima. Određivanje obujma uključuje određivanje prikladnih granica analize. Ono uključuje prepoznavanje cjelokupne proizvodnje i odlaganja odnosno recikliranja materijala zajedno s uslugama uključenima u životni vijek predmetnog proizvoda ili usluge. Sve LCA studije analiziraju neki oblik međusobno povezanog sustava. Da bi se analiza nekog sustava mogla kvantificirati i analizirati neki sustav, na taj sustav moraju biti postavljene granice. Granice sustava su uobičajeno oblikovane na način da opisuju životni vijek proizvoda. [21, 22]

Primjerice, analiza može uključiti sve ulaze u obliku materijala i energije, istovremeno zanemarujući utjecaj na okoliš cijelog životnog vijeka (proizvodne) opreme koja sudjeluje u postupku kao i infrastrukture unutar koje je ta oprema smještena. Granice sustava mogu primjerice odrediti proces sveden na jednu jedinicu poput potrošnje električne energije, no isto tako sustav može biti određen na način da se analizira potrošnja električne energije u cjelokupnim proizvodnom pogonu. [21, 22, 23]

Analiza inventara je rezultat prikupljanja i obradbe svih procesa koji se tiču ostvarivanja proizvoda odnosno usluga. Analiza inventara kao temelj na okoliš LCA analize omogućuje

grubu procjenu utjecaja proizvoda ili usluga na okoliš. Svrha inventara je dobivanje baze prema kojoj se određuje stvarni utjecaj na okoliš. Podatci o inventaru mogu biti prebačeni u utjecaj na okoliš s pomoću određenih algoritama ili pokazatelja povezanih sa štetnosti na okoliš. Razvijeno je mnogo ekoloških pokazatelja odnosno s njima povezanih čimbenika utjecaja na okoliš. Bitno je naglasiti kako ISO 14040 naglašava kako se ti pokazatelji ne smiju jednostrano primjenjivati bez obzira na različite vremenske, prostorne i ostale uvjete. Primjena pokazatelja određena je u pojedinoj metodi procjene utjecaja na okoliš. U normi se također navodi kako bi relevantne rezultate morali preispitati stručnjaci za LCA. [4, 8, 23]

Sastavnice koje su uključene u isporuku proizvoda ili usluge moraju biti uzete u obzir, kao i ulazi za njihovu proizvodnju. Nadalje, kako se ide uzvodno prema vađenju i nabavi ruda (ili recikliranom materijalu), trebali bi biti uzeti ulazi od ulaza, itd. Analiza također sadržava izlaze, emisije i otpad proizveden u svim fazama proizvoda ili usluge. U svrhu skraćivanja odnosno pojednostavljivanja analize, jednostavne procjene utjecaja mogu biti primijenjene na neke dijelove životnog ciklusa proizvoda kako bi se provjerilo jesu li ti utjecaji zanemarivi te kao takvi mogu biti isključeni iz analize. [23, 24]

Vrijednost metode ovisna je o ponovljivosti i usporedivosti dobivenih rezultata. Zato je ključan usklađen metodološki okvir u međunarodnom mjerilu. U tu svrhu bile su načinjene i izdane norme serije ISO 14040 koje govore o metodologiji izrade i vrjednovanju dobivenih rezultata. [8]

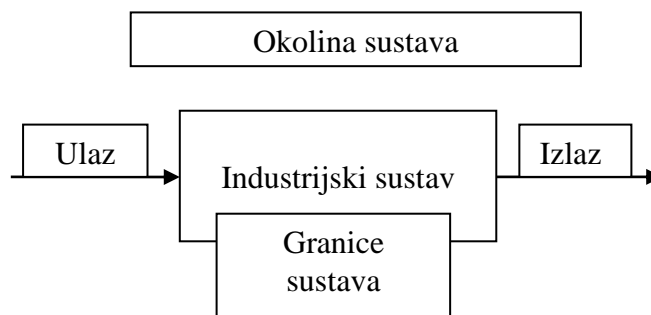
Prema prihvaćenim normama, ključna obilježja LCA analize su: [25]

- LCA analize trebaju sustavno i primarno odrediti ekološka gledišta sustava proizvoda i dobivanja sirovina
- razina temeljitosti i vremenski okvir LCA analize mogu se mijenjati u velikom rasponu, prema postavljenom cilju i predmetu analize
- predmet, pretpostavke, razina kakvoće podataka, metoda i izlaz LCA analize moraju biti pregledni; LCA analize trebaju razmatrati i dokumentirati izvore podataka i jasno ih prikazati
- LCA metoda treba biti dostupna novim otkrićima i poboljšanjima na razini suvremene tehnologije

- kod primjene LCA analize, posebni zahtjevi se primjenjuju za stvaranje uspoređujućih proizvoda koji su dostupni javnosti
- rezultate LCA analize ne treba smanjivati na jednostavne podatke i brojeve jer u raznim fazama životnog vijeka važni su razni odnosi i pripajanja promatranih sustava
- ne postoji jedinstvena metoda za pripremu LCA analize – prema međunarodnoj normi pojedine organizacije trebaju primjereno rabiti LCA analizu na osnovu zahtijevane primjene i zahtjeva korisnika.

Glavna načela LCA metode su: [25]

- Jasno odrediti ciljeve i obujam analize još prije početka same analize, od kojih se onda odvijaju svi sljedeći koraci. Od točno i jasno određenih ciljeva ovisi kvaliteta analize.
- Jasno određene granice sustava. Granice bi trebale obuhvatiti sve što je potrebno analizirati u svakoj fazi životnog vijeka proizvoda. Svaki industrijski sustav predstavljen je granicom koja ograničava djelatnosti, koje su predmet zanimanja. Prostor izvan granice – okolina sustava – služi kao izvor ulaza u sustav i prihvatni element izlaza iz sustava (slika 2.8). Određivanje granica sustava je najvažniji zadatak na početku LCA analize, jer su pogrešna tumačenja izvor najvećih grešaka.
- Izbjeći višestruko računanje istih stavki, kao što su potrošnja energije, materijala i proizvodnja otpada ili zagađenja.
- Održati koegzistenciju pri stvaranju katastarske baze podataka. Jedinice moraju biti usporedive i primjenjivane na odgovarajućim mjestima.
- Obuhvatiti energetske vrijednosti materijala i proizvodnu vrijednost energetskih izvora.
- Kod prikupljanja podataka za LCA analizu, neophodno je uzimati u obzir sljedeće čimbenike:
 - prikupljanje podataka vremenski je najzahtjevniji dio analize
 - mnogi podatci su skriveni, tako da je vrlo teško doći do njih
 - javno dostupni podatci (publikacije) su većinom zastarjeli, ne sadrže zahtijevane pojedinosti i ne slijede važne trendove proizvodnje i tehnologije
 - potrebno je što brže i točnije prikupiti podatke potrebne stručnjacima za analize.



Slika 3.2. Granice industrijskog sustava [25]

3.1. Metodologija LCA

Životni put proizvoda ne počinje njegovom pojavom na tržištu, niti završava njegovim odlaganjem u kanti za smeće ili najnepovoljnije odbacivanjem negdje u okoliš. Životni vijek proizvoda je mnogo kompleksniji i čini ga nekoliko faza. Faze životnog vijeka proizvoda nisu jednoznačno određene te se u različim projektima i analizama javljaju različite faze, ovisno o potrebama i cilju same analize. U nekim slučajevima pojedine faze ostvarene su postupno, tj. jedna za drugom s jasnom granicom kraja jedne faze i početka iduće. Ponekad se pojedine faze do određene mjere međusobno preklapaju na način da je jedna faza počela dok prethodna još nije sasvim završila. [8, 21]

Tip i količina pokazatelja koji se primjenjuju u LCA analizama varira ovisno o mnogo čimbenika. Sve LCA analize moraju sadržavati neke pokazatelje, u protivnom se ne mogu procijeniti utjecaji inventara na okoliš. Neke studije uzimaju u obzir LCI (*e. Life Cycle Inventory* – Analiza inventara životnog vijeka) analizu istovremeno ne uključujući LCIA (*e. Life cycle impact assesment* – Procjena utjecaja na okoliš). U fazi analize utjecaja osnovni tokovi množe se faktorom karakterizacije kako bi se utjecaj mogao međusobno zbrojiti. Uzimanje u obzir LCI faze povlači za sobom činjenicu da su isključivo iznosi energije, materijala i emisija u težištu analize. [8, 25-28]

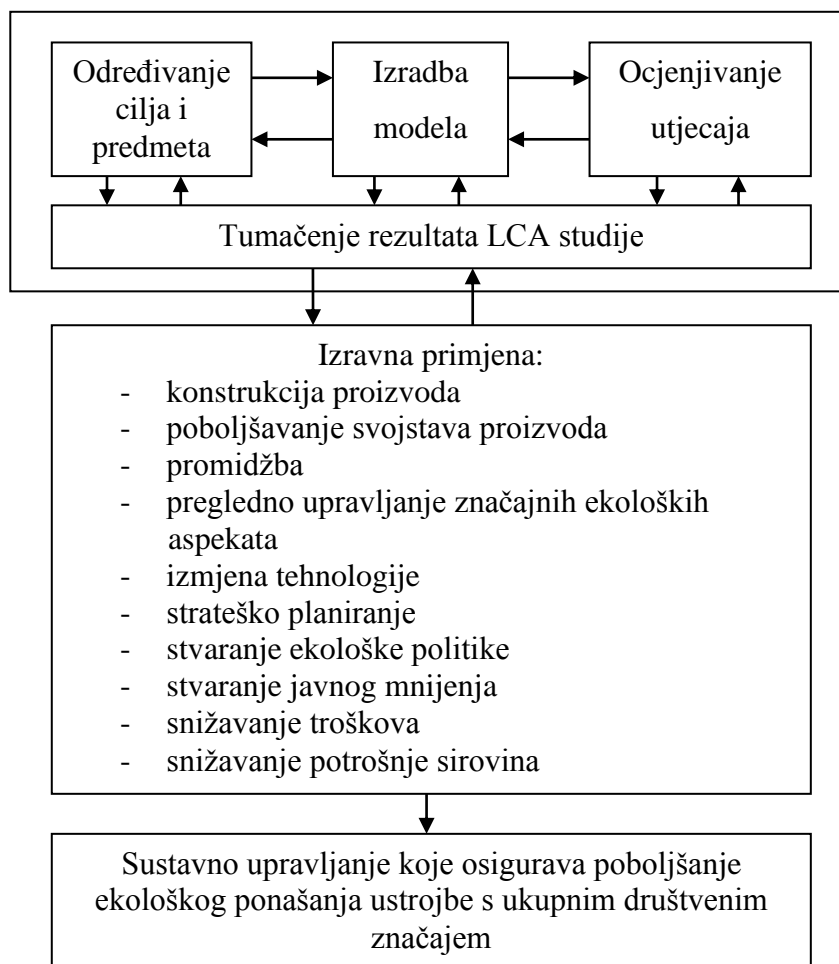
LCA studija (kao što je prikazano na slici 2.9) sastoji se od četiri glavne faze: [8]

1. Određivanje cilja i obujma LCA analize,
2. Izradba modela životnog vijeka proizvoda zajedno sa svim unosima i iznosima koji utječu na okoliš – LCI faza,

3. Procjena utjecaja na okoliš – LCIA faza,

4. Tumačenje rezultata/studije.

Najčešće sve stavke nisu obuhvaćene LCA analizama jer, ovisno o cilju i obujmu analize, nema potrebe za provedbom svih mogućih koraka.



Slika 3.3. Metodologija LCA s uzajamnim zavisnostima [8, 25]

3.1.1. Određivanje cilja i obujma LCA analize

Kako bi se omogućio modeliranje životnog vijeka nekog proizvoda, usluge ili nekog sustava, potrebno je primijeniti pojedina pojednostavljenja. To vuče za sobom činjenicu da će modelirana situacija biti nešto drugačija od stvarne. U tome leži glavni izazov subjekta koji provodi analizu. Cilj je razviti model koji će dobro modelirati stvarnost unatoč uvedenih pojednostavljenja. Najbolji način da se navedeni izazov svlada je na početku analize odrediti poteškoću. [26-28]

U određivanju cilja i obujma LCA analize potrebno je opisati stavke kao što su: [8, 21]

- razlog provedbe LCA analize, odnosno postaviti pitanja na koja treba pružiti odgovor
- precizna definicija proizvoda, odnosno njegovog životnog vijeka i funkcije koju ispunjava
- definicija funkcijske jedinice, posebno u slučajevima kada je potrebno usporediti proizvode
- opis granica sustava
- opis podataka, njihove kakvoće, pretpostavke i ograničenja pod kojima su isti dobiveni
- zahtjevi LCIA procedure, te tumačenje iste
- korisnici zaključaka analize i način na koji će rezultati biti prikazani
- odgovor na pitanje hoće li analizu pregledati stručnjaci koji imaju iskustva na tom području
- izgled izvješća na kojem će se rezultati prikazati.

Određivanje cilja i obujma analiza pomaže subjektu dosljedno provođenje analize. Ako se tijekom napredovanja pokaže potreba, cilj i obujam analize mogu biti podložni kasnijim promjenama. Bilo kakva promjena cilja i obujma trebala bi biti zabilježena. [26-28]

Razlozi studije moraju biti jasno određeni. Neke LCA studije mogu služiti za više svrha. U ISO normi postoje posebni zahtjevi za određivanje cilja poput jasnog određivanja korisnika analize zajedno sa svrhom primjene rezultata. Ta činjenica je vrlo bitna zbog toga jer analiza koja ima svrhu isporučiti informacije isključivo unutar subjekta koji provodi analizu je u pravilu strukturirana bitno drugačije u odnosu na analizu koja ima svrhu usporediti dva proizvoda odnosno usluge i te rezultate prikazati javnosti. Primjerice, za analizu koja služi usporedbi proizvoda odnosno usluga u ISO normi stoji kako se težinske vrijednosti o procjeni utjecaja ne bi smjele rabiti te kako je pregled stručnjaka sa iskustvom u području obvezatan. [21, 26-28]

Obujam LCA analize opisuje najvažnije metodološke izbore, pretpostavke i ograničenja. Bitno je napomenuti kako je LCA najčešće iterativan postupak te postoje razlike u početno osmišljenom i završnom postupku pri prikazivanju rezultata. Pri određivanju obujma, stavke poput funkcijske jedinice, LCIA metodologije te granica sustava moraju biti opisane.

U analizi je potrebno dati opis funkcije sustava koji se analizira. Funkcijska jedinica mora biti dosljedno određena s ciljem i obujmom studije. Prvenstvena svrha funkcijske jedinice je omogućiti vrstu reference prema kojoj se ulazi i izlazi normaliziraju (u matematičkom smislu). Funkcijska jedinica mora biti jasno određena i mjerljiva. Nakon odabira funkcijske jedinice, pristupa se određivanju referentnog toka. U slučaju usporedbe različitih proizvoda odnosno usluga, analize moraju biti uspostavljene na temelju istih funkcijskih jedinica u obliku njihovih referentnih tokova. Referentni tokovi najčešće predstavljaju materijal, energiju te emisije po funkcijskoj jedinici. Ako LCA analiza ne služi za usporedbu, izbor funkcijske jedinice može se izvršiti na način da je ta jedinica što jednostavnija i razumljiva korisniku analize. [26-28]

Postavljanje granica sustava određuje koji će jedinični ili sustavni procesi biti uključeni u LCA analizu. Granice sustava moraju biti sukladne s ciljem studije. Potrebno je donijeti te objasniti odluke o opširnosti analize odnosno postupaka koji se moraju uključiti u analizu. Ne uzimanje u obzir pojedinih faza životnog vijeka je dozvoljeno samo u slučaju ako one ne utječu značajno na konačan rezultat. Takve odluke moraju biti jasno obrazložene. Isto tako moraju se objasniti razina pojedinosti do koje će se analizirati. [27]

Načelno postoje tri tipa analiza s obzirom na njihove granice: [28]

- analiza prvog reda: uzeti su u obzir samo materijali i prijevoz (rijetko korištena analiza)
- analiza drugog reda: svi bitni procesi unutar životnog vijeka uzeti su u obzir osim životnih vijekova opreme (strojevi, zgrade, itd.) koja sudjeluje u stvaranju proizvoda odnosno procesa
- analiza trećeg reda: svi bitni procesi unutar životnog vijeka uzeti su u obzir zajedno s opremom koja sudjeluje u ostvarivanju procesa. Uobičajeno je da se oprema modelira analizom prvog reda. Dakle prijevoz i materijali potrebni za proizvodnju opreme uzeti su u obzir.

Sustav bi trebao biti određen tako da ulazi i izlazi na granicama sustava predstavljaju osnovne tokove i tokove proizvoda. Osnovni tokovi mogu biti potreban materijal za izradbu proizvoda, dovedena električna energija, emisije određenih plinova itd. Osnovni tokovi emisija su najčešće izraženi u masi, npr. kg CO₂ i sl. [27, 28]

Što se tiče materijalnih unosa, analiza započinje početnim odabirom ulaza koji će biti uzeti u obzir. Taj odabir bi trebao biti temeljen na prepoznavanju povezanim s važnim procesima unutar sustava. Ulazi i izlazi energije moraju biti razmotreni isto kao i ostali unosi i iznosi. [28]

Tijekom izradbe LCA analize primjenjuje se više kriterija u svrhu odlučivanja hoće li pojedini ulazi i izlazi uzeti u obzir. Te kriteriji su: [28]

- kriterij mase (često se izražava kao određeni postotak od ukupne mase ulaza)
- kriterij energije (često se izražava kao određeni postotak od ukupne energije ulaza)
- kriterij okolišne važnosti (izražava se kao određena količina procijenjenog utjecaja unosa na okoliš koje su posebno odabrani zbog važnosti istih) Poteškoća kod ovog kriterija je što se taj utjecaj ne zna prije no što se napravi prva iteracija analize.

3.1.2. Analiza inventara – LCI faza

Inventar životnog vijeka LCI obuhvaća sakupljanje i postupke proračuna za brojčano iskazivanje važnih ulaza i izlaza sustava proizvoda. Ovi ulazi i izlazi mogu biti primjena izvora sirovina, energije i štetnih emisija u okoliš povezanu sa sustavom. Ovi podatci čine i ulaz za ocjenjivanje utjecaja životnog ciklusa. Prikupljanje podataka predstavlja najzahtjevniji zadatak u izvedbi LCA analize. Informacije o kvalitativnim i kvantitativnim osnovnim tokovima moraju biti dane za svaki jedinični proces koji se odvija unutar granica sustava. Informacije mogu biti mjerene, izračunate ili procijenjene te služe u svrhu kvantificiranja unosa i iznosa jediničnog procesa. [8, 21]

Postoji razlika između dvije vrste podataka: [25]

- podatci u prvom planu vezani uz sustav ili pojedini proizvod
- podatci iz pozadine koji najčešće služe za proizvodnju generičkih materijala, energije, prijevoz i oni se mogu uzeti iz baza podataka.

Razlika između ta dva tipa podataka često nije jasno određena te ovisi o sustavu koji se analizira. U slučaju kad podatci nisu dostupni konvencionalnim putem (literature, mjerenja, tablica prosječnih razmjena između pojedinih industrija), mogu se dobiti iz baza podataka (npr. *Ecoinvent*). Baza *Ecoinvent* podržava modeliranje dodavanjem atributa što je ujedno i najčešće rabljena metoda. Modeliranje dodavanjem atributa primjenjuje se u slučajevima kada

se želi saznati utjecaj proizvoda ili usluge na okoliš te koji dio proizvoda ili usluge ima najviši utjecaj na okoliš. Modeliranje dodavanjem atributa radi se i u slučajevima kada se želi usporediti dva proizvoda s istom funkcijskom jedinicom. Od faze nabave sirovina do odlaganja odnosno recikliranja svi ulazi i izlazi su zbrojeni. [25-28]

Prilikom dobivanja podataka iz baze potrebno je znati vade li se isti za jedinični proces ili za sustavni proces. Podatci za sustavne procese uzimaju u obzir isključivo resurse i emisije za cijeli proces, ne uzimajući zasebno njegove sastavne elemente. S druge strane, možemo vaditi i podatke za jedinične procese, koji su međusobno povezani preko stabla u sustavni proces, što ima za posljedicu vrlo složena stabla procesa. Iz tog razloga pristup vađenja podataka za sustavne procese je čest, naročito u LCA analizama koje služe za grubu procjenu okolišnih performansi. [25-28]

3.1.3. Procjena utjecaja na okoliš – LCIA

Kako bi neki sustav koji se uspoređuje bio vjerodostojan, potrebno je da proizvodi imaju neku brojčanu ocjenu. Takav pristup je prihvaćen u svim LCA alatima. Na temelju tih brojčanih vrijednosti donosi se ukupna ocjena štetnosti pojedine faze života proizvoda i omogućuje se usporedba s nekim drugim proizvodom ili nekom drugom fazom. [8,21]

Procjena utjecaja na okoliš pristup je koji se temelji na funkcijskoj jedinici proizvoda u razmatranju. Najveći dio LCA stručnjaka ne razvija metode analize utjecaja na okoliš nego se rabe već razvijene metode. Metode procjene utjecaja na okoliš obično sadržavaju neki broj kategorija utjecaja (npr. 10 – 20). Kao i u analizi inventara, cilj i obujam analize ostaje smjernica prema kojoj se odabiru metode. [8, 21, 25]

LCIA se može odrediti kao faza koja ima za cilj ocijeniti veličinu i važnosti utjecaja sustava na okoliš. U ISO 14040/44 razlikuju se dva tipa elemenata: [25]

- obvezatni elementi: razvrstavanje i karakterizacija utjecaja
- izborni elementi: normalizacija, dodavanje težinske vrijednosti te rangiranje i grupiranje.

Razvrstavanje je način kojim se procjenjuje utjecaj na temelju podataka koji se iz analize inventara dodaju utjecaji na okoliš. U tablici 3.1 prikazani su neki osnovni tokovi (u ovom

slučaju emisije) i kategorije utjecaja na okoliš. Osnovni tokovi mogu istovremeno utjecati na više kategorija utjecaja. Kako je utjecaj na okoliš svakog od osnovnih tokova različit u smislu utjecaja po jedinici mase, potrebno je osnovnim tokovima dodati faktore. U tu svrhu se koriste faktori karakterizacije. [25-28]

Tablica 3.1. Prikaz razvrstavanja osnovnih tokova [28]

Osnovni tok	Kategorije utjecaja na okoliš		
	Promjena klime	Smanjenje sloja ozona	Eutrofikacija
1 kg CO ₂	X		
1g CFC142b	X	X	
5 g NO ₂		X	X

Faktori karakterizacije propisani su pojedinom metodom procjene utjecaja. ISO zahtijeva da se faktori karakterizacije temelje na znanstvenim načelima i kao takvi moraju imati sljedivost. U tablici 3.2 prikazan je primjer karakterizacije.

Tablica 3.2. Primjer karakterizacije osnovnih tokova [28]

Osnovni tok	Kategorije utjecaja na okoliš					
	Promjena klime		Smanjenje sloja ozona		Eutrofikacija	
	Faktor karakterizacije	Rezultat	Faktor karakterizacije	Rezultat	Faktor karakterizacije	Rezultat
1 kg CO ₂	1	1				
1g CFC142b	2310	2,31	0,07	$0,7 \cdot 10^{-5}$		
5 g NO ₂					0,56	0,0028
Rezultat karakterizacije	3,31		$0,7 \cdot 10^{-5}$		0,0028	
Mjerna jedinica	Ekvivalentni kg CO ₂		Ekvivaletni kg CFC11		Ekvivalentni kg P	

Rezultati karakterizacije ne mogu se međusobno uspoređivati jer su izraženi u različitim jedinicama (kg CO₂ i sl.) te se s pomoću tih brojaka ne može odrediti je li taj utjecaj malen ili velik zbog toga jer ga se nema s čim usporediti. U tu svrhu potrebno je dobiveni broj podijeliti s nekim referentnim (npr. brojčani podaci o prosječnoj godišnjoj emisiji CO₂, CFC11 itd.). Tada se te vrijednosti nazivaju normalizacijskima.

Tablica 3.3. Primjer normalizacijskih vrijednosti [28]

Osnovni tok	Kategorije utjecaja na okoliš					
	Promjena klime		Smanjenje sloja ozona		Eutrofikacija	
	Faktor karakterizacije	Rezultat	Faktor karakterizacije	Rezultat	Faktor karakterizacije	Rezultat
1 kg CO ₂	1	1				
1g CFC142b	2310	2,31	0,07	$0,7 \cdot 10^{-5}$		
5 g NO ₂					0,56	0,0028
Rezultat karakterizacije	3,31		$0,7 \cdot 10^{-5}$		0,0028	
Mjerna jedinica	Ekvivalentni kg CO ₂		Ekvivaletni kg CFC11		Ekvivalentni kg P	
Faktor normalizacije	$1,12 \cdot 10^4$ kg CO ₂ /god		$2,2 \cdot 10^{-2}$ kg CFC11/god		$4,15 \cdot 10^{-1}$ kg P/god	
Rezultat normalizacije	$3,17 \cdot 10^4$ god		$3,18 \cdot 10^{-3}$ god		$6,75 \cdot 10^{-3}$ god	

Dodavanje težinske vrijednosti pojedinim kategorijama utjecaja radi se u svrhu povećanja odnosno smanjenja važnosti pojedinog utjecaja na okoliš. Dodavanje težinske vrijednosti u LCIA analizi nije temeljeno na znanosti te je iz tog razloga vrlo subjektivno. Prema tome je razvijeno nekoliko rješenja: [28]

- dodavanje težinskih vrijednosti: komisija određuje važnost svake kategorije utjecaja i utvrđuje težinske vrijednosti. Često je problematično objašnjavanje značenja pojedinih

kategorija utjecaja na način da ga svi članovi razumiju te je stoga relativno lako utjecati na krajnji ishod.

- dodavanje težinskih vrijednosti zadavanjem ciljeva: u nekim slučajevima moguće je zadati cilj za svaku kategoriju utjecaja na okoliš te kao težinsku vrijednost rabiti udaljenost trenutne situacije do cilja. Prema tome, što je cilj udaljeniji, težinska vrijednost je veća. Neke metode koriste ciljeve zadane od strane raznih ustanova. Taj pristup, kao i ostali, ima svojih mana.

3.1.4. Tumačenje rezultata

Zadnji korak u LCA analizi je tumačenje rezultata. Cilj zadnjeg koraka je analiza rezultata, ostvarenih zaključaka, objašnjenje ograničenja i pružanje preporuka na temelju dobivenih rezultata analize i izvještavanje o rezultatima tumačenja životnog vijeka. Nastoji se pružiti i jasno prihvatljivu ponudu i predstaviti rezultate analize LCA ili LCI, u skladu s određenim ciljem i predmetom analize. Tumačenje rezultata najčešće se sastoji od: [8, 21]

- prepoznavanja poteškoća temeljenih na rezultatima LCI i LCIA dijelova analize
- vrjednovanja,
- zaključaka i preporuka.

Primjena svih koraka nije obvezujuća, već cilj i obujam analize određuju potrebu za pojedinom fazom. Određivanje cilja i predmeta te tumačenje čine okvir analize, dok LCI i LCIA faza daju podatke o sustavu proizvoda. [26]

1) Prepoznavanje poteškoća temeljenih na rezultatima LCI i LCIA dijelova analize

Izdvajanje onih rezultata dobivenih analizom koji u većoj mjeri odstupaju od pretpostavljenih granica unutar kojih je rezultat te analize zadovoljavajući. Poteškoće izdvojene u ovom koraku temelj su za daljnji rad tj. poboljšanja na analiziranom proizvodu. To olakšava, kako određivanje bitnih i ekološko značajnih poteškoća, tako i stvaranje zaključaka i preporuka. [26-28]

Preporučuje se pored ostalog procijeniti: [28]

- pojedine parametre inventara: emisije, izvori energije i materijala, otpad i slično
- pojedine procese, osnovne procese ili njihove skupine

- pojedine faze životnog vijeka
- pojedine pokazatelje u području utjecaja.

2) Vrijednovanje

Nastoji se uspostaviti povjerenje u ispravnost rezultata LCA analize uzimajući u obzir moguće problematične stavke prepoznate u prvoj fazi tumačenja. Rezultati tumačenja trebaju biti prikazani tako da omogućuju korisniku jasan i razumljiv pogled na rezultate analize. Tijekom vrednovanja moraju se osigurati sve informacije i podatci iz svih faza i njihova dostupnost tumačenju. Podatci moraju biti potpuni jer oni osiguravaju da se ne izostave neki glavni aspekti. Važno je određivanje utjecaja raznih pretpostavki, metoda i podataka na rezultate.

Uglavom se kontrolira utjecaj pretpostavki na prepoznate bitne poteškoće. Kontrola utjecaja pretpostavki je uspoređivanje rezultata dobivenih na osnovu zadanih pretpostavki, metoda ili podataka s rezultatima dobivenim na osnovu promijenjenih pretpostavki, metoda ili podataka. Osjetljivost pojedinog problema na pretpostavljene podatke može se nakon provedenih usporedbi prikazati u postocima promjene ili kao apsolutno odstupanje. Potrebno je provjeriti primjenjuju li se pretpostavke, metode, modeli i podatci jedinstveno za vrijeme životnog ciklusa proizvoda ili u okviru nekoliko mogućnosti.

3) Zaključci i preporuke

Krajnji korak je dati zaključke LCA analize, navesti ograničenja, preporuke i smjernice za korisnika analize.

4. RAČUNALNI ALATI ZA LCA ANALIZU

Na tržištu postoji mnogo računalnih alata za izvođenje LCA analiza, kao npr.:

- *Gabi 6*
- *Enviance*
- *SimaPro 8*
- *Umberto*
- *Open LCA*
- *Regis*
- *Green-E*
- *CMLCA*

Dan je opis računalnog alata zajedno sa bazom podataka kojom se koristi. Programski alat *Gabi* omogućuje prikupljanje, analizu i kontrolu podatka kojima se procjenjuje održivost proizvoda odnosno usluga. Alati su u skladu ISO normama okolišne održivosti te se s pomoću njega mogu raditi analize koje zadovoljavaju kriterije propisane u normama. Mogu se lako modelirati i analizirati kompleksni životni ciklusi na sustavan način. Program omogućuje određivanje utjecaja na okoliš proizvoda i usluga preko svih faza životnog vijeka kao i prepoznavanje žarišnih točaka okolišnih značajki kako u samoj proizvodnji tako onomu što slijedi nakon nje. [29]

U alate je integrirano mnogo baza podataka, kako bi se u što je više mogućoj mjeri olakšala izradba LCI faze. Baze podataka služe u mnogo svrha kao što je: [29]

- analiza stvaranja CO₂,
- održivost vodnog gospodarstva,
- (eko)projektiranje proizvoda,
- okolišne deklaracije proizvoda,
- određivanje ključnih pokazatelja (*e. KPI – key process indicators*).

Prednost alata je transparentnost njegove baze podataka koja pruža uvid korisniku što je i u kojoj količini uzeto u obzir prilikom izradbe LCA analize. Bitno je naglasiti kako program *Gabi* osim podataka o materijalima sadrži i podatke o uobičajenim procesima (prijevoz, valjanje čelika, itd.). Rezultati LCA analize sljedeći su od konačnih rezultata pa sve do izvora

u bazi podataka. Struktura podataka je usklađene strukture i nomenklature te je kao takva u skladu s metodama procjene utjecaja na okoliš. [29]

Računalni alati sadrže sljedeće baze podataka:

- Ecoinvent v3 LCI database
- Agri-Footprint LCI database
- European reference Life Cycle Database (ELCD)
- Franklin US LCI 98 library
- European Life Cycle Data
- US input output library
- EU and Danish Input Output library
- Swiss Input Output database
- LCA Food
- US Life Cycle Inventory Database (USLCI)
- Industry data v2.

Alati omogućuju i korištenje brojnih LCIA metoda koje se, prema prethodno objašnjenom načelu, mogu svrstati u tzv. metode središnjeg i krajnjeg utjecaja. [30]

Metode središnjeg utjecaja uključene u programe: [30]

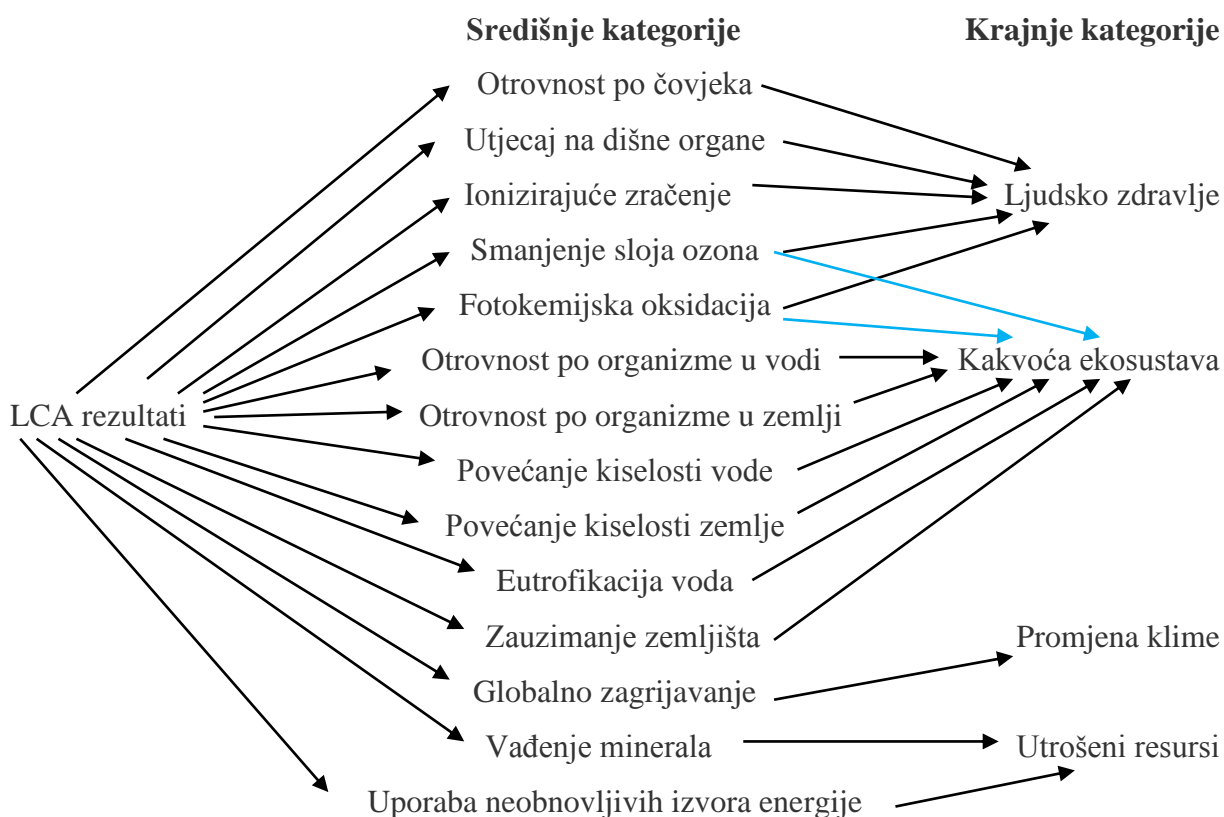
- CML-IA
- EPD (2013)
- ILCD 2011
- ReCiPe Midpoint
- BEES+
- TRACI 2.1
- Cumulative Energy Demand
- Ecological footprint
- itd.

Metode krajnjeg utjecaja uključene u programe: [30]

- Ecological scarcity 2013
- EPS 2000
- ReCiPe Endpoint
- IMPACT 2002+
- Water footprint: Boualay et al
- Water footprint: Motoshita et al
- Water footprint: Pfister et al.

4.1. IMPACT 2002+ metoda procjene utjecaja na okoliš

Metoda je prvotno razvijena u sklopu Švicarskog instituta za tehnologiju – Lausanne (EPFL). Metodologija povezuje sve tipove podataka dobivenih tijekom LCI faze preko 14 središnjih do konačne 4 krajnje kategorije, prema slici 4.1, što predstavlja hibridnu (središnju/krajnju) metodu. Zbog toga jer je krajnjem korisniku analize najčešće zanimljiv konačan utjecaj, metoda je svrstana pod krajnje metode. [30-35]



Slika 4.1. Kategorije utjecaja metode IMPACT 2002+ [33]

IMPACT 2002+ se sastoji od 15 središnjih kategorija pri čemu je kategorija otrovnosti po ljude podijeljena na dvije kategorije: nekancerogene (*e. non-carcinogens*) i kancerogene tvari (*e. carcinogens*).

Budući da je za kategoriju fotokemijske oksidacije određena kvantitativna veza samo s krajnjom kategorijom ljudskog zdravlja, navedena središnja kategorija se dalje u radu naziva utjecajem na dišne organe od organskih tvari. [31]

Karakterizacijski čimbenici za kategoriju otrovnosti po ljude i zemljanu odnosno vodenu otrovnost uzeti su iz osnovne metode IMPACT 2002 (*Impact Assessment of Chemical Toxics*). Ostali čimbenici su preuzeti iz postojećih metoda procjene utjecaja na okoliš (Eco-indicator 99, CML 2001, IPCC, Cumulative Energy Demand). Bitno je napomenuti kako za središnje kategorije koje su povezane crtkanom linijom trenutno ne postoji kvantitativna znanstvena podloga stoga se iste kvantitativno ne modeliraju u računalnom programu. [31-35]

Metoda IMPACT 2002+ sadrži oko 1500 središnjih čimbenika karakterizacije za različite tipove podataka dobivenih iz LCI faze. Prikaz dijela strukture metode dan je na tablici 4.1.

Tablica 4.1. Dio sastavnih dijelova metode IMPACT 2002+ [33, 35]

Broj LCI rezultata uzetih u obzir	Središnja kategorija	Referentna tvar središnje kategorije	Krajnja kategorija	Jedinica
10	Povećanje kiselosti vode	SO ₂ u vodi	Kakvoća ekosustava	-
38	Globalno zagrijavanje	CO ₂ u zraku	Promjena klime	kg CO ₂
9	Uporaba neobnovljivih izvora energije	MJ	Utrošeni resursi	MJ
20	Vađenje minerala	MJ dodatne energije	Utrošeni resursi	MJ

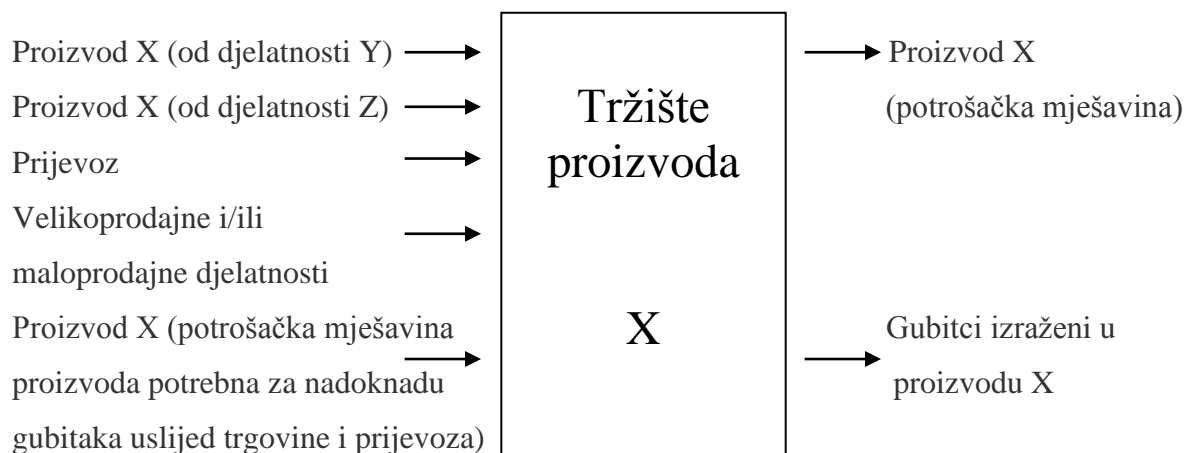
Ukoliko se želi steći osjećaj koliki je utjecaj na okoliš putem normalizacije, u metodi su dani normalizacijski faktori za sve četiri kategorije utjecaja. Ako se normaliziraju (dijele) krajnji rezultati tada su rezultati normalizacije izraženi u broju ekvivalentnih prosječnih osoba u Europi koji u godini dana prouzroče isti osnovni tok. [31]

Baza podataka *Ecoinvent* jedna je od najprimjerenijih u industrijskom sektoru te pokriva više od 10 000 procesa i rezultat je napora švicarskih ustanova u svrhu objedinjavanja više baza podataka u jednu. [31]

Baza *Ecoinvent* je redovito održavana, konzistentna i transparentna baza podataka.. Integrirana baza podataka omogućuje vađenje istih na razini jediničnih i sustavnih procesa (LCI). Baza *Ecoinvent* sadrži podatke u području opskrbe energijom, poljoprivredi, prijevozu, biogorivima, biomaterijalima, posebnim kemikalijama, građevinskom materijalu, materijalom za pakiranja, sirovinama, metalnim materijalima, plemenitim materijalima, elektroničkim sklopovima, prehranbenoj tehnologiji, drvenim proizvodima te otpadnim materijalima. Kao takva predstavlja jednu od najširih međunarodnih LCI baza podataka. [31-35]

Baza podataka *Ecoinvent* sadržana je u mnogim LCA alatima. Bitno je kako se podatci u bazi svode na određenu djelatnost. Glavne djelatnosti koje su sadržane u novu inačicu baze podataka jesu transformacijske i tržišne djelatnosti. [31-35]

Pod pojmom transformacijska djelatnost podrazumijeva se ona koja pretvara ulaze u izlaze (koji imaju različita svojstva od ulaza). Transformacijska djelatnost je najuobičajeniji tip djelatnosti u bazi podataka *Ecoinvent*. Pod pojmom tržišne djelatnosti podrazumijeva se djelatnost koja ne pretvara ulaze, već prenosi izlaz od jedne ili više transformacijskih djelatnosti do sljedeće transformacijske djelatnosti. Tržišna djelatnost uobičajeno sadržava slične izlaze (X) od različitih transformacijskih djelatnosti (Y i Z), dakle tržišna djelatnost predstavlja potrošačku mješavinu izlaza. Tržišna djelatnost podrazumijeva izlaze prosječnih transportnih radnji, djelatnosti od strane distributera (skladištenje, pakiranje, itd.) i gubitke potrošačke mješavine prilikom tih radnji. Termin gubitak se rabi jer uslijed radnji prijevoza i raspodjele nastaje dodatni utjecaj na okoliš te se isti nadoknađuje na način da se dodaje dodatna količina proizvoda. Prikaz definicije tržišta za proizvod X dan je na slici 4.2.

Slika 4.2. Prikaz definicije proizvoda u bazi *Ecoinvent* [33]

U najjednostavnijem obliku, baza podataka o tržištu proizvoda sastoji se od referentnog proizvoda koji predstavlja potrošačku mješavinu te jedan ili više unosa (X) istog proizvoda od različitih transformacijskih djelatnosti (Y i Z) koje se odvijaju unutar zadanih zemljopisnih granica. Algoritam baze podataka Ecoinvent automatski prepoznaje transformacijske djelatnosti koje povezuje ime proizvoda (X) i zemljopisne lokacije transformacijske djelatnosti. Nakon prepoznavanja povezuje proizvode (X) s tržištem za taj isti proizvod te računa udio pojedinog proizvoda na temelju godišnjeg obujma proizvodnje svjetskog tržišta. Podatci o tržištu pokazuju se vrlo korisnima u slučajevima kada nisu poznati godišnji obujmi proizvodnje neke transformacijske djelatnosti te je iste potrebno procijeniti. Tada se rabe podatci o tržištu koji daju koliki je postotni tržišni udio neke transformacijske djelatnosti u završnom proizvodu.

Proizvodna mješavina je podatak koji govori koliki je postotak pojedine transformacijske djelatnosti u proizvodu, npr. koliki postotak proizvedene struje dolazi iz kojeg izvora (plin, ugljen, nuklearne elektrane, itd.) za određeno zemljopisno područje. Taj podatak je u velikom dijelu sadržan u bazi podataka o tržištu proizvoda, no neki popisi podataka za proizvodne mješavine su zadržane kako bi se isti mogli usporediti sa starijim LCI analizama.

5. LCA ANALIZA ODABRANIH PROIZVODA

U svrhu procjene utjecaja životnog vijeka na okoliš odabrani su sljedeći proizvodi: bočice gela za tuširanje od polipropilena (PP), polietilena visoke gustoće (PE-HD) i poli(etilen-tereftalata) (PET) obujma 300 mL. Bočice su prikazane na slici 5.1.



Slika 5.1. Bočice od PP-a, PE-HD-a i PET-a [36, 37, 38]

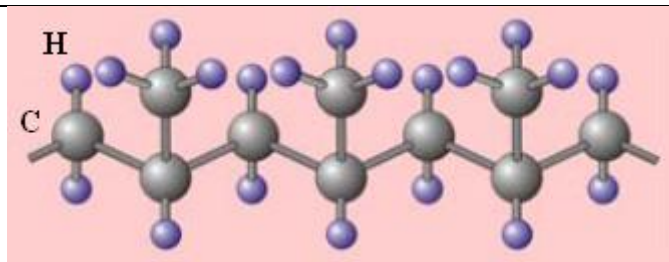
5.1. Polipropilen

Polipropilen je plastomer niske gustoće i tališta 160 – 170 °C. Zagrijan se lako oblikuje savijanjem, a nakon hlađenja zadržava novi oblik.

Osnovna formula polipropilena je:



Proizvodi se postupkom polimerizacije u kojemu se više malih molekula monomera propilena pravilnim rasporedom povezuje u duge lance molekula (makromolekule). Na slici 5.2 nalazi se shematski prikaz makromolekule polipropilena.



Slika 5.2. Shematski prikaz makromolekule polipropilena [39]

Svojstva polipropilena: [39]

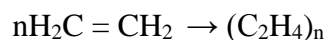
- gustoća $0,9 - 0,91 \text{ g/cm}^3$
- rastezna čvrstoća $31 - 41 \text{ N/mm}^2$
- produljenje pri kidanju $100 - 600 \%$
- tlačna čvrstoća $38 - 55 \text{ N/mm}^2$
- talište $160 - 170 \text{ }^\circ\text{C}$
- toplinska rastezljivost $(8,1 - 10) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
- osjetljiv na niske temperature (već pri $0 \text{ }^\circ\text{C}$ postaje krhak)
- neotrovan, netopljiv, kemijski postojan prema raznim namirnicama, uključujući i masnoće.

Polipropilen se prerađuje injekcijskim prešanjem ili ekstrudiranjem pri temperaturama od 200 do $300 \text{ }^\circ\text{C}$.

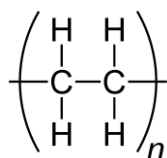
Uporaba polipropilena vrlo je različita: od ribarskih mreži i brodske užadi preko fizioloških neopasnih folija i ploča debljine do 30 mm , pa sve do različitih dijelova u ambalažnoj, automobilskoj i zrakoplovnoj industriji. Polipropilen se također rabi za izradbu namještaja, kućišta za televizore, izradbu čamaca, spremnika za vodu i ulje, različitih posuda i poklopaca, za pakiranje medicinskih preparata i sl. U posljednje vrijeme PP se često upotrebljava za izradbu cijevi i vodova za transport korozivnih kapljevina i plinova, morske vode i tople vode za grijanje.

5.2. Polietilen visoke gustoće

Kao drugi materijal za potrebe analize odabran je PE-HD. Homopolimer polietilena dobiva se polimerizacijom monomera etilena, uz raskidanje dvostrukih veza atoma ugljika:



Slika 5.3 prikazuje kemijsku strukturu polietilena:



Slika 5.3. Kemijska struktura polietilena [39]

Dobiveni polietilen je kristalaste struktur. Odgovarajućim proizvodnim postupcima proizvodi se više vrsta polietilena. Najvažnije vrste polietilena su: polietilen visoke gustoće (PE-HD), polietilen srednje gustoće (PE-MD), polietilen niske gustoće (PE-LD), linearni polietilen niske gustoće (PE-LLD) i polietilen vrlo niske gustoće (PE-VLD).

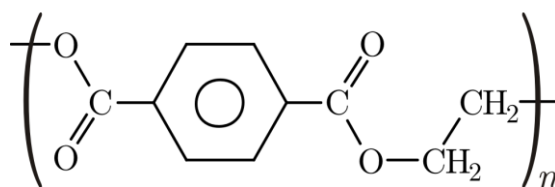
Glavna svojstva polietilena: [39]

- otpornost na trošenje, kemijska postojanost i toplinska postojanost PE povišuju se s porastom gustoće, ali se ujedno smanjuje prozirnost
- gustoća se kreće u granicama do 0,89 do 0,91 g/cm³ za PE-VLD, do 0,96 g/cm³ za PE-HD
- neprerađen je mliječno bijele boje, kod tankih folija je gotovo proziran
- odlična elektro-izolacijska svojstva
- gornja temperatura uporabljivosti je 60 °C, a talište od 105 do 115 °C za PE-LD, odnosno 90 °C i talište od 120 do 130 °C za PE-HD,
- zadržava savitljivost i pri -50 °C, pa se primjenjuje za pakiranje namirnica koje se zamrzavaju
- postojan prema većini kemikalija i otapala, postojan prema vodi, alkoholu, ulju, a PE-HD i prema benzinu
- nepostojan prema jakim oksidacijskim sredstvima
- bez okusa i mirisa, te fiziološki inertan.

Prerađuje se svim osnovnim postupcima preradbe plastomera, ali ponajviše ekstrudiranjem, injekcijskim prešanjem i puhanjem.

5.3. Poli(etilen-tereftalat) [39]

Dobiven je kondenzacijom tetratafalne kiseline s etilen-glikolom. PET spada u skupinu zasićenih poliestera. Na slici 5.4 je prikaz kemijske strukture PET-a.



Slika 5.4. Kemijska struktura PET-a [39]

Tipovi PET-a koji su danas u uporabi imaju dobra mehanička, kemijska i električna svojstva, a mogu biti u amorfnom i u kristalastom stanju. Kristalnost se može mijenjati od 0 do 60 %, a lanci mogu biti ili izotropno (slučajno) ili visoko orijentirani duž jedne (aksijalno) ili dvije (biaksijalno) osi. Parametri preradbe određuju stupanj kristalizacije i orijentaciju.

PET ne treba omekšavala ili neke druge dodatke. Žilav je i izvrsne je prozirnosti i sjaja. Lagan je i postojan na napukline zbog naprezanja (tenzokoroziju). Izvrsne je dimenzijske stabilnosti i posjeduje vrlo dobru nepropusnost na vodenu paru, kisik i ugljični dioksid. Postojanost PET-a na kemikalije i otapala bitno se poboljšava povišenjem kristalnosti polimera. Osnovni nedostatak mu je otežana preradba zbog relativno spore kristalizacije iz taljevine, što zahtijeva održavanje temperature preradbe u uskim granicama.

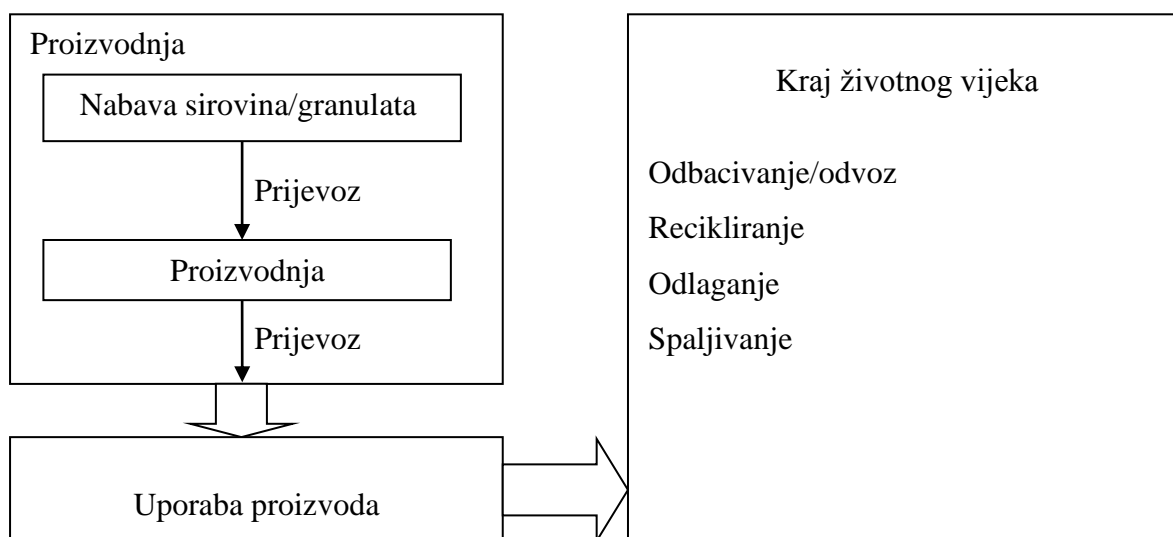
PET se danas upotrebljava za pakiranje prehrambenih i ostalih proizvoda (npr. deterdženti i kozmetika), za folije za kućanstvo i industriju, ali i u zahtjevnim područjima kao što su medicina, kirurgija i farmacija.

5.4. Cilj i obujam LCA analize

Cilj provedbe ove LCA analize je dobivanje kvantitativne informacije o utjecaju životnog vijeka proizvoda na okoliš. Osnovna namjena izradbe LCA analize je dobivanje informacije o redu veličine utjecaja na okoliš životnog vijeka odabranih proizvoda te informacija o tome koliki je utjecaj na okoliš pojedine životne faze zajedno s njenim sastavnim dijelovima u odnosu na cjelokupni utjecaj.

Granice sustava dijele se na tri faze: proizvodnja, uporaba proizvoda i kraj životnog vijeka.

Granice sustava prikazane su na slici 5.5.



Slika 5.5. Granice sustava

U ovom koraku potrebno je:

- odrediti svrhu i cilj provođenja analize
- odrediti funkcijsku jedinicu
- odrediti granice sustava promatranog proizvoda
- odrediti podatke o proizvodu i svim relevantnim postupcima vezanim uz njega.

Ulazne podatke određuje i unosi korisnik, s tim da je moguće, za podatke navedene u posljednjoj točki (podatci o proizvodu i relevantnim procesima vezanim uz njega) upotrijebiti predodređene baze koje su sastavni dio programskog paketa. U slučaju da je cilj provođenja analize usporedba dva proizvoda ili pak samo analiza kritičnih točaka utjecaja na okoliš, a ne modeliranje i razmatranje cijelog životnog ciklusa proizvoda, nije potrebno ostvariti drugu od gore navedenih točaka.

Utjecaj uzvodnih životnih faza uzima se u obzir preko baze podataka *Ecoinvent* i to po jedinici određenog materijala. Baza podataka *Ecoinvent* sadrži prosječne okolišne veličine po određenim materijalima zajedno s okolišnim utjecajima transportnih radnji koje se odvijaju prilikom proizvodnje. Utjecaji na okoliš pakiranja gela za tuširanje u ovoj LCA analizi nisu uzeti u obzir, zbog toga jer je iterativnim procesom izradbe LCA analize zaključeno kako je utjecaj pakiranja zanemariv u odnosu na utjecaj na okoliš cijelog životnog vijeka.

5.5. Analiza inventara (LCI)

Analiza inventara napravljena je u skladu s određenim ciljem i obujmom odnosno s predhodno određenim granicama sustava. Konačan rezultat analize inventara su osnovni tokovi odnosno štetne emisije, sirovine te energija. Navedeni konačni rezultati izvađeni su iz baze podataka *Ecoinvent*.

5.5.1. Proizvodnja

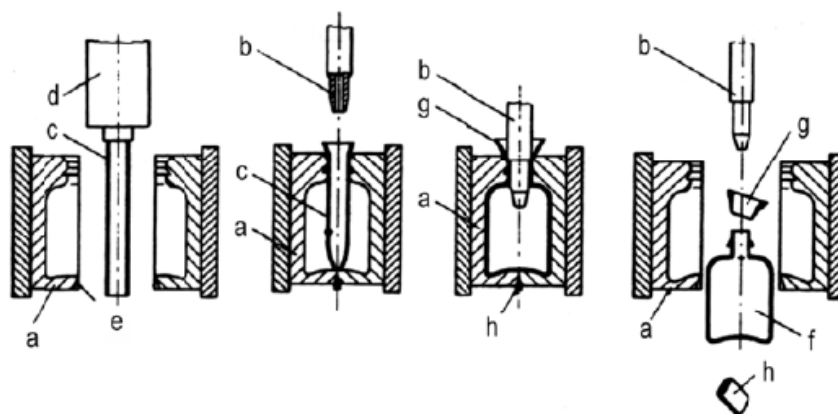
Životni vijek proizvodnje čine nabava sirovina/granulata, proizvodnja bočica te prijevoz do trgovina/kupaca.

Materijali i sirovine strukturirani su način koji odgovara cilju i obujmu. U LCI fazi nabave materijala i sirovina u obzir je uzet i prijevoz materijala od mjesta nastajanja do mjesta proizvodnje. Utjecaji na okoliš proizvodnje bočica uzet će se u obzir preko potrošenih resursa i stvorenog otpada.

Postupak izradbe PP i PE-HD bočica je ekstruzijsko puhanje. Ekstruzijsko puhanje je najjednostavniji, najisplativiji i najrašireniji postupak izradbe plastičnih boca. Razlozi

proširenosti ovoga postupka među ostalim su i gotovo neograničene mogućnosti geometrije puhanog komada, npr. mogu se praviti platenke s dršcima, dvostrukim komorama, pomaknutim grlima s obzirom na središnjicu i dr. Ekstruzijsko puhanje nije gospodarski opravdano za male boce, najčešće se upotrebljava za izradbu boca obujma 250 mL na više, sve do 10 000 L. Proizvodi mogu biti osnosimetrični (boce), ali i nepravilna oblika, npr. pakovanja, spremnici za gorivo u vozilima ili dijelovi namještaja. [40]

Ekstruzijsko puhanje može se podijeliti na dva osnovna postupka: kontinuirano ekstruzijsko puhanje (npr. za PVC) i diskontinuirano ekstruzijsko puhanje. Tijekom kontinuiranog postupka pripremak se kontinuirano oblikuje brzinom jednakom brzini oblikovanja proizvoda, hlađenja i vađenja. Poluproizvod prve faze ekstruzijskog puhanja je pripremak, dobiven iz ekstrudera u obliku cijevi. Za manje proizvode, mase do 1 kg i obujma do 30 l, taljevina polimernog materijala istiskuje se iz ekstrudera (d) kontinuirano (c). Na slici 5.6 prikazan je shematski prikaz ekstruzijskog puhanja. [40]



Slika 5.6. Ekstruzijsko puhanje [40]

Dio ekstrudiranog pripremkata zatim se okružuje kalupom (a) izrađenim od lakog metala (aluminija) radi djelotvornog odvođenja topline. Kalup se zatvara i pritom se jedan kraj pripremkata, obično donji, njime prignječi i zavari. Na drugom se kraju pripremak odreže i u njega ulazi puhalo (b). Utiskivanjem puhala oblikuje se grlo budućeg proizvoda. Kroz puhalo se zatim upuhuje zrak pod tlakom od 1 MPa, koji širi pripremak i potiskuje do stijenki kalupa. Kalup mora biti tako izrađen da se lako može ukloniti zrak koji se prije upuhivanja nalazio u prostoru između pripremkata i zatvorenog kalupa. Hlađenje proizvoda (f) često je dugotrajno,

kako bi se ubrzalo može se umjesto stlačenog zraka puhalom dovoditi i ukapljeni ugljikov dioksid ili dušik. [40]

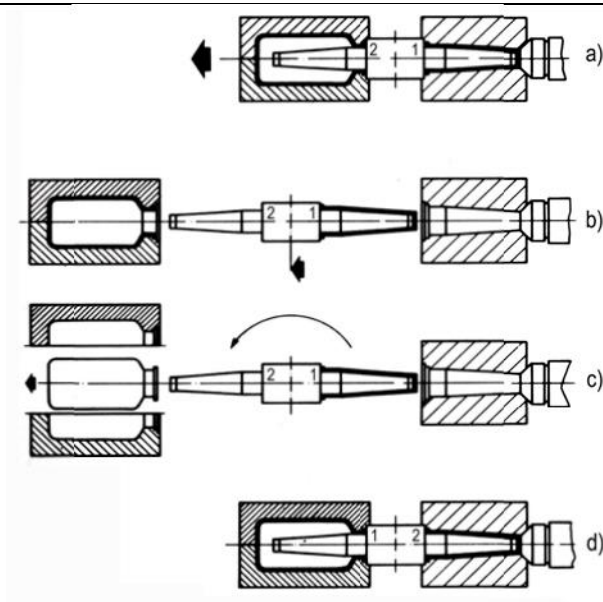
Na proizvodu nastaju šavovi od zavarivanja i gnječanja, a pravi se i zamjetna količina otpada (g, h), osobito pri kompliciranim konstrukcijama, koja se u većini slučajeva reciklira i miješa s čistim materijalom. Dijelovi grla i navoja za zatvaranje se ispuhuju ili iznutra kalibriraju te se zadovoljavajuće kakvoće ako se ne postavljaju posebni zahtjevi u pogledu tolerancija i kakvoće unutarnje površine. Slično vrijedi i za kakvoću vanjske površine ako su u prvom planu optička svojstva kao što su prozirnost i čistoća. [40]

PET bočice se proizvode postupkom injekcijskog puhanja. Injekcijsko puhanje primjenjuje se za izradbu malih plastenki i dijelova, obujma do nekoliko litara. Za veće količine malih boca, injekcijsko puhanje je postupak s najnižim troškovima, no izradba većih plastenki tim postupkom nije gospodarski isplativa. Postupak je namijenjen izradbi šupljih tijela nepropustnih za plinove i kvalitetne površine. Takvi se proizvodi često upotrebljavaju u medicini i kozmetici, a služe i za izradbu različitih pakovanja. [40]

U osnovi se razlikuju dvije skupine postupaka injekcijskog puhanja. Prvi je postupak vrlo proširen; priprema se pravi injekcijskim prešanjem u prešaonici i dostavlja u puhaonicu, gdje se napuše plastenka. Drugi načinje integrirano injekcijsko puhanje gdje se injekcijsko puhanje priprema i puhanje provode na jednom mjestu (slika 5.7). [40]

Postupak integriranoga injekcijskog puhanja: [40]

- a – ubrizgavanje (1) i puhanje (2),
- b – otvaranje kalupa,
- c – izbacivanje proizvoda i okretanje jezgrenih puhala,
- d – ubrizgavanje (2) i puhanje (1)



Slika 5.7. Integrirano injekcijsko puhanje [40]

Integrirano injekcijsko puhanje sastoji se od dvije radne faze. U prvoj se pripremak izrađuje injekcijskim prešanjem. Injekcijsko prešanje najvažniji je ciklički postupak preradbe polimera. Injekcijsko prešanje plastomera pripada postupcima praoblikovanja ili pravljenja čvrstog tijela od bezobličnih tvari, pri čemu se postiže povezanost među česticama, stvara se građa materijala. Općenito, injekcijsko prešanje plastomera definira se kao ciklički postupak praoblikovanja ubrizgavanjem plastomerne tvari potrebne viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje ubrizgavalice u temperiranu kalupnu šupljinu. Tvorevina, otpresak postaje hlađenjem podobna za vađenje iz kalupne šupljine. [40]

Svaki sustav za injekcijsko prešanje mora ispuniti sljedeće funkcije: priprema tvari potrebne smične viskoznosti, ubrizgavanje i stvaranje praoblika i strukture tvorevine pri propisanoj temperaturi elemenata kalupne šupljine. [40]

1. faza – plastificiranje [40]

Plastomerne granule se dobavljaju kroz lijevak ubrizgavalice u cilindar gdje ih zahvaća pužni vijak. Toplina dovedena grijalima i razvijena vrtnjom pužnog vijka pri čemu se mehanički rad trenja pretvara u toplinu dovodi do taljenja plastomera. Tijekom pripreme plastomerna taljevina sakuplja se ispred vrha pužnog vijka (sabirnica) koji biva potisnut unatrag.

2. faza – ubrizgavanje i djelovanje naknadnog tlaka [40]

Kada se u sabirnici pripremi dovoljno plastomerne taljevine, rotacija pužnog vijka se zaustavlja. Nakon toga hidraulički sustav potiskuje pužni vijak i dolazi do ubrizgavanja taljevine u kalupnu šupljinu. Nakon ubrizgavanja slijedi faza djelovanja naknadnog tlaka, tijekom koje se tlak u kalupnoj šupljini održava pri propisanoj vrijednosti dok plastomerna taljevina očvršćuje. S pomoću održavanja naknadnog tlaka u kalupnoj šupljini nastoji se nadoknaditi stezanje materijala. Faza djelovanja naknadnog tlaka nastavlja se sve dok ne očvrstne područje ušća nakon čega tlak u kalupnoj šupljini pada na okolišni tlak.

3. faza – hlađenje i vađenje otpreska iz kalupa [40]

U trenutku očvršćivanja ušća otpresak poprima svoj konačan oblik u kalupu, no temperatura otpreska je još uvijek previsoka da bi se otpresak mogao sigurno izvaditi iz kalupne šupljine. Stoga je otpresku potrebno osigurati nužno vrijeme hlađenja do postizanja temperature postojanosti oblika. Ta faza ciklusa injekcijskog prešanja naziva se fazom hlađenja otpreska, a ujedno uključuje i fazu plastificiranja, tijekom koje se u cilindru za taljenje priprema nova količina plastomerne taljevine za idući ciklus. Nakon što otpresak dovoljno očvrstne za sigurno vađenje iz kalupne šupljine, nastupa faza vađenja otpreska iz kalupa. [40]

Prilikom integriranog injekcijskog puhanja treća faza se ne odvija odmah poslije ubrizgavanja već se rastaljeni plastični materijal ubrizgava u kalupnu šupljinu na jezgreno puhalo. Pripremak se još topao i na jezgrenom puhalu prenosi u kalup za puhanje. Kroz jezgru puhalu upuhuje se stlačeni zrak koji proširuje pripremak do stijenki kalupne šupljine što hladi proizvod. [40]

Kod kalupa za injekcijsko puhanje koji su uglavnom konstruirani kao samostalne funkcijske jedinice, otpresci se većinom prenose u kalup zakretanjem nosača puhalo oko vodoravne osi koja se kreće okomito ili usporedno sa steznim površinama ploča za zatvaranje na stroju za injekcijsko prešanje. Kut zakretanja iznosi, već prema strukturi kalupa, ili 180° ili kao funkcija broja kalupnih šupljina kalupa za injekcijsko prešanje i puhanje 45°, 60° ili 90°. [40]

Tijekom injekcijskog puhanja ne stvara se otpad i nema srha koji se mora rezati ili reciklirati.

5.5.2. Transport

Prijevoz sirovih materijala i komponenata do mjesta proizvodnje uzet je u obzir preko baze podataka *Ecoinvent*. Ponekad se u LCA analizama uzima u obzir i montaža samih proizvoda, no navedena faza životnog vijeka je česta u kompliciranim poslovima sklapanja. U ovom slučaju utjecaj sklapanja nije uzet u obzir zbog zanemarivog utjecaja iste.

5.5.3. Uporaba proizvoda i kraj životnog vijeka

Uporaba bočice ne opterećuje dodatno okoliš te se radi toga ne uzima u obzir, također se ne uzimaju u obzir troškovi i teret održavanja.

Kako bi se kvalitetno moglo pristupiti modeliranju kraja životnog ciklusa potrebno je znati kako teče proces nakon prestanka uporabe. Nakon prestanka uporabe slijedi odlaganje bočice u kućanski otpad te odvoz i zbrinjavanje iste. Teži se odvojenom sakupljanju pojedinih frakcija otpada nastalog u kućanstvu, ali postoje i nove tehnologije postupanja i obradbe otpada u kojima nije potrebno razvrstavanje na mjestu nastanka, već se to obavlja u središtima i postrojenjima za obradbu i zbrinjavanje. Potrebno je odvojiti što više istovrsnog materijala kako bi se isti mogao kvalitetno reciklirati odnosno spaljivati u svrhu povrata energije.

U ovoj analizi uzeta su u obzir tri različita načina postupanja s otpadom: recikliranje, spaljivanje u svrhu povrata energije i odlaganje. Procesi u fazi kraja životnog vijeka proizvoda (recikliranje, spaljivanje i odlaganje) ovise o vrsti materijala. Svaki materijal u bazi podataka *Ecoinvent* ima predodređen scenarij kraja životnog vijeka. Navedeni scenariji uključuju mnogo čimbenika poput iskoristivosti materijala, iskoristivosti energije, ispuštenih emisija, resursa potrebnih za funkcioniranje objekata u kojima se vrši scenarij kraja životnog vijeka.

Recikliranje materijala povoljno utječe na okoliš te će se učinci uslijed recikliranja i spaljivanja označiti negativnim iznosom utjecajne kategorije. U stvarnosti postoje dodatne emisije (već ugrađene u bazi podataka) koje su povezane s procesom recikliranja i spaljivanja što bi na prvi pogled imalo dodatni negativni učinak. No prema dogovoru je da se negativni utjecaj modelira iz razloga što će reciklirani materijal, odnosno dobivena energija u konačnici smanjiti potrebu za proizvodnjom tzv. novog (*e. virgin*) materijala odnosno energije. Nastale emisije i potrebne energije prilikom proizvodnje od novih materijala su u pravilu znatno veće

od onih koje nastaju prilikom scenarija odlaganja, recikliranja ili spaljivanja u svrhu povrata energije.

Plastični i gumeni proizvodi mogu biti različite trajnosti. Plastična ambalaže najkraće je trajnosti. Nakon isteka njihove uporabne vrijednosti, potrebno je te proizvode zbrinuti. Pod uporabom se podrazumijeva zatvaranje tokova materijala i proizvoda na temelju tehničkih, gospodarskih i društvenih ciljeva. Pritom su ciljevi zaštite okoliša kombinacija navedenih ciljeva. U tom se slučaju govori o cjelovitim bilancama polimernih proizvoda. Pod pojmom uporabe razumijeva se materijalna i energijska uporaba. [42]

Materijalna uporaba dijeli se na mehaničku i kemijsku uporabu.

Obilježje mehaničke uporabe, recikliranja, jest usitnjavanje polimernih proizvoda i njihovo pretvaranje u polimerni materijal (npr. proizvodnja plastomernoga granulata) ili korištenje kao dodatka (npr. usitnjeni duromerni ili elastomerni prahovi služe kao punilo), dok kemijska uporaba označuje postupke razlaganja usitnjenoga polimernog materijala i/ili proizvoda na početne sastojke, sintetski plin ili ulje. [42]

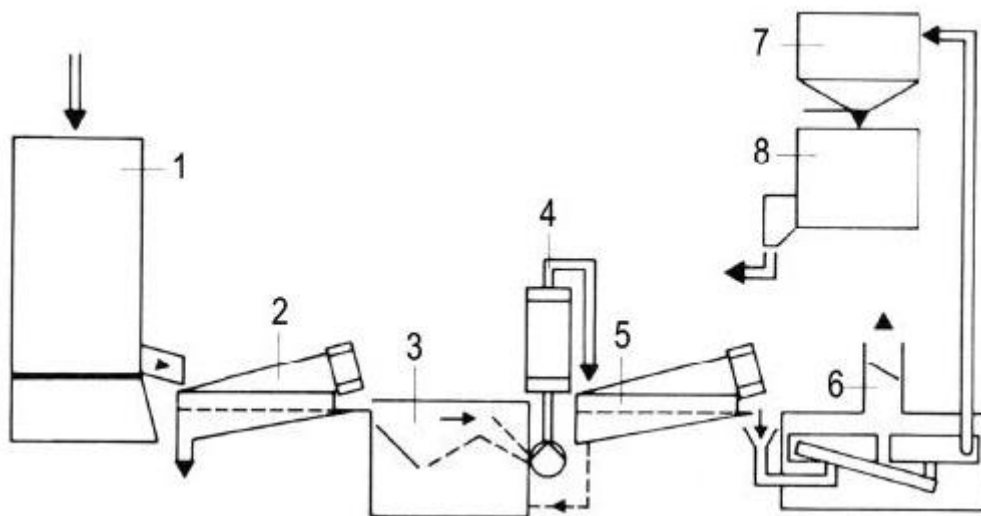
Tijekom energijske uporabe polimerni otpadni materijal i tvorevine spaljuju se uz pridobivanje korisne toplinske energije ili bez nje.

5.5.3.1. Mehanička uporaba [42]

Mehanička uporaba ili recikliranje je najpoznatiji oblik zbrinjavanja plastičnih i gumenih proizvoda te nastalog otpada. Primjerice, oko 80 % plastomera moguće je na taj način taljevinski uporabiti, pri čemu se od početnog materijala oblikuju novi proizvodi.

Postoje tri oblika mehaničke uporabe: taljenje čistih plastomera odvojenih po vrstama, taljenje posebnih skupina onečišćenih plastomera i taljenje raznovrsnih plastomera. Za mehaničku uporabu posebno su pogodni svi po skupinama odvojeni plastomeri koji se mogu dalje prerađivati bilo kojim postupkom, npr ekstrudiranjem, injekcijskim prešanjem ili puhanjem. Posebna skupina koja se mehanički oporabljuje, uz određene teškoće, jesu onečišćeni

plastomeri, kod kojih je potrebno nečistoće odstraniti npr. u hidrociklonu kao što je prikazano na slici 5.8.

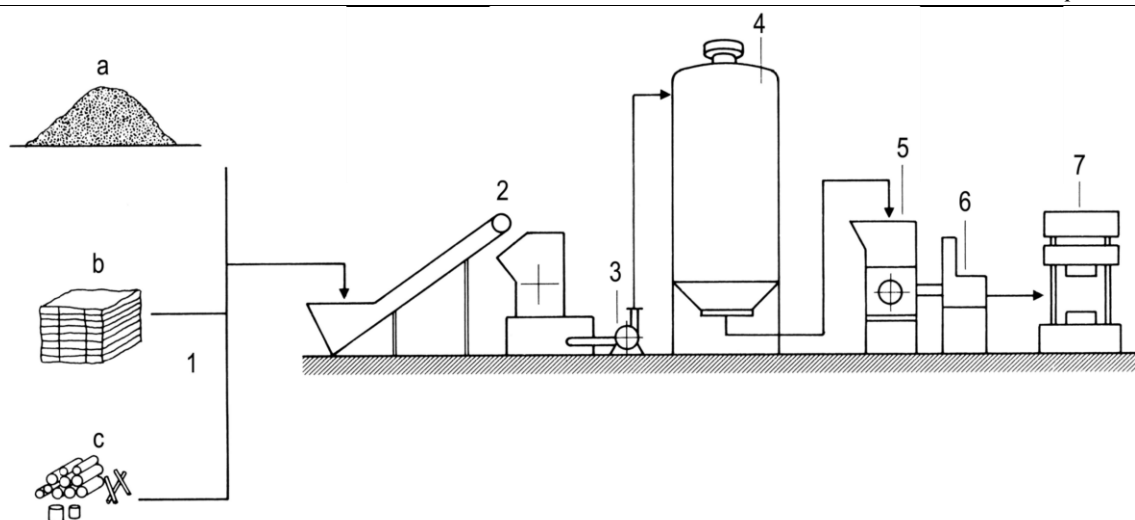


Slika 5.8. Postrojenje za regeneriranje jako onečišćenog plastičnog otpada [42]

Postrojenje čine sljedeći dijelovi:

- 1 – jedinica za usitnjavanje i pranje
- 2 – treskajući žlijeb s prskajućkom kupkom
- 3 – floatacijski spremnik za odvajanje teških nečistoća
- 4 – hidrociklon za odvajanje teških čestica nečistoće
- 5 – žlijeb za odvodnju vode
- 6 – centrifugalna sušilica
- 7 – odbojni silos
- 8 – aglomerator.

Slika 5.9 prikazuje postrojenje za pravljenje izravno prešanih otpresaka od otpadne plastike.



Slika 5.9. Postrojenje za pravljenje izravno prešanih otpresaka od otpadne plastike [42]

Dijelovi postrojenja sa slike 5.8 su:

- a – granulats od kućnoga smeća
- b – kompoziti, filmovi, folije, runo
- c – kruta plastika
- 1 – plastični otpad
- 2 – usitnjavaonica
- 3 – mehanička ili pneumatska dobava
- 4 – silos
- 5 – plastifikator s istiskivalicom
- 6 – obujmno doziranje (obujamna odmjera) plastifikata
- 7 – automatska dobava preša za izravno prešanje.

Oporaba otpada koji sadržava, osim plastike i gume, i druge materijale, nameće potrebu odvajanja ostalih vrsta materijala, a tek je potom moguće mehanički oporabljivati plastiku i gumu. Ako su pritom plastika i guma i onečišćeni, moguća je njihova uporaba npr. ekstrudiranjem. Tržište tako proizvedenog reciklata je ograničeno, a proizvodi u pravilu zamjenjuju drvene i betonske proizvode, npr. plastične zidove za zaštitu od buke na autocestama.

Poznato je da se organski materijali, npr. papir, plastika i guma, ne mogu beskonačno puta ponovno upotrebljavati, jer sa svakim procesom ponovljene uporabe materijal gubi dio svojstava. Time su mehaničkoj uporabi postavljene granice, kod nekih je materijala ona 10 ponovnih preradba. Cilj je stoga izradba reciklata osigurane kvalitete, čime se nalazi sigurno tržište i time stvarno zatvara kružni tok materijala. Za uspješnu uporabu, osim pozitivne bilance materijala, energije i troškova, treba voditi računa i o pronalaženju primjena i tržišta za reciklate. Tu je svakako, uz veće prihvaćanje potrošača, potrebna i podrška zakonodavca i javnosti da bi se promijenile diskriminacijske norme i pravovaljano odobrila izgradnja postrojenja za mehaničku uporabu.

Zbog sveg navedenog mehanička uporaba ne može imati veći udio od 20 % svih načina uporabe polimernih materijala i tvorevina.

Radi rasterećenja sve oskudnijeg prostora za odlagališta, treba tražiti druge, potpunije načine iskorištenja, odnosno konačnog zbrinjavanja polimernog otpada.

Mehaničku uporabu moguće je podijeliti na dva tipa:

1.1) primarno recikliranje čistoga plastičnog otpada radi ponovne preradbe (npr. recikliranje otpada s proizvodne linije)

1.2) sekundarno recikliranje uporabljenih proizvoda radi dobivanja plastike (homogene ili heterogene) za ponovnu preradbu.

1.1) Primarno recikliranje podrazumijeva uporabu homogenog i čistog plastičnog otpada, tj. otpad s proizvodne linije ili otpad koji je bio regeneriran i iskorištavan takav ili dodan osnovnom polimeru.

U slučaju recikliranja homogenog plastičnog otpada, otežavajuću okolnost predstavlja razgradnja (obično fotooksidacija) kojoj je polimer izložen tijekom uporabe. Tako svojstva ovih recikliranih polimera ne ovise samo o recikliranju nego i o njihovoj proizvodnoj prošlosti.

Pri recikliranju heterogene plastike dodatni je problem inkompatibilnost različitih polimera prisutnih u otpadu (PE, PVC, PET itd.). Dobro je poznata činjenica da je samo nekoliko polimernih parova kompatibilno (npr. PE i PP).

Primarno recikliranje se u preradbenim pogonima može ustrojiti centralizirano ili decentralizirano. Pri centralizaciji recikliranja sav se otpad sakuplja i oporabljuje na jednom mjestu. Pri decentralizaciji recikliranje se pridružuje skupinama strojeva ili svakom stroju za preradbu plastomera. U nastavku će biti opisan centralizirani koncept recikliranja pri ekstrudiranju crijevnog filma.

Proces recikliranja u tvornicama preradbe plastike može se podijeliti u pet faza:

- 1) razvrstavanje, sakupljanje i skladištenje otpada
- 2) usitnjavanje i miješanje otpada
- 3) regranuliranje
- 4) miješanje i skladištenje regranulata
- 5) ponovna preradba.

1) Razvrstavanje, sakupljanje i skladištenje

Na mjestu nastajanja u izradbenom procesu otpad se razvrstava po skupinama. Da bi se spriječilo stvaranje velikih zaliha otpada na otvorenom odlagalištu, otpadu se može prije odlaganja prešanjem i usitnjavanjem smanjiti obujam. Izbjegavanjem odlaganja škarta i proizvodnog otpada na otvorenu prostoru sprječavaju se njegovo onečišćenje i razgradnja.

2) Usitnjavanje i miješanje otpada

Osnovni načini usitnjavanja otpada jesu rezanje, mljevenje i aglomeriranje. Rezanje se obavlja različitim noževima, pilama ili giljotinom. Pri uporabi polietilenskog filma mljevenje je glavni način usitnjavanja otpada. Grubim mljevenjem usitjava se krupni otpad da bi se mogao fino samljati i pripremiti za granuliranje. Aglomeriranje je postupak usitnjavanja pri kojem se otpad melje i pod utjecajem topline aglomerira (kompaktira) u aglomerat. Aglomerat se može izravno rabiti za proizvodnju manje zahtjevnih proizvoda.

Pri dobavljanju otpada do otvora mlina ili aglomeratora rabi se tražilo metala (metal detektor) i odvajaju se metalne nečistoće. Usitnjeni se otpad se pneumatskim sustavom transportira do silosa u kojima se skladišti po utvrđenim skupinama. U silosima za skladištenje mljevenog otpada postoje uređaji za stalno miješanje listića filma da bi oni bili u stalnom kretanju, što je nužno za njihovo izuzimanje iz silosa i za daljnji pneumatski transport do regranulatora.

3) Regranuliranje

Regranuliranje je sastavni dio procesa oporabe. Mljeveni se otpad dozatorom s pužnim vijkom dobavlja u lijevak ekstrudera. Osim otpada, u lijevak ekstrudera može se dodavati koncentrat boje i drugi dodaci za oplemenjivanje otpada.

Zadatak je ekstrudera rastaliti mješavinu usitnjena otpada, homogenizirati je i istisnuti prema alatu kroz cjedilo i sita. Konstrukcija ekstrudera primjerena je funkciji regranuliranja, što se očituje izborom oblika i materijala pužnog vijka, cilindra niske trošivosti, ugradnjom otvora za otplinjavanje i uređaja za brzu izmjenu sita.

Konstrukcija pužnog vijka i cilindra mora osigurati ujednačen učin i trajnost ekstrudera. Otplinjavanjem se uklanjaju hlapljive nečistoće npr. boja i vlaga.

Na lako izmjenjivim sitima odvajaju se krupne nečistoće. Na izlasku iz alata ekstrudat se reže u granule, hladi vodom te zatim odvaja od vode vibracijskim sitima, centrifugom i vlastitom toplotom regranulata.

Proizvedeni se regranulat puhalom transportira u prihvatni silos. Prihvatni silos omogućuje kontinuitet regranuliranja otpada i daljnji transport do homogenizatora.

4) Miješanje i skladištenje regenerata

U ovoj se fazi procesa oporabe regranulat miješa, transportira i skladišti u silose, spremnike ili vreće. Od prihvatnog silosa regranulat se najčešće transportira pužnim vijkom do homogenizatora. Transporter s pužnim vijkom može poslužiti za izuzimanje regenerata iz

homogenizatora pri punjenju spremnika i pri pakiranju regranulata u vreće. Od silosa za miješanje regranulat se pneumatski transportira do silosa za skladištenje regenerata.

5) Ponovna preradba regenerata

Regenerat se može preraditi ekstrudiranjem u crijevni film namijenjen za plastične proizvode potrebne u poljoprivredi, vrećice za otpatke, vrećice za nošenje s izrezom i sl. Nekvalitetni se regenerat može preraditi u cijevi za odvodnju oborinske vode. Regenerat se može prodati prerađivačima koji će ga preraditi drugim postupcima preradbe (npr. injekcijskim prešanjem).

1.2) Sekundarno recikliranje – recikliranje otpadnih PET boca

Recikliranjem otpadne PET ambalaže mogu se dobiti razne vrste proizvoda. Najniži stupanj gospodarenja otpadnom PET ambalažom je njezino sakupljanje i sabijanje, odnosno baliranje. Pri tome PET ambalaža može biti nerazvrstana ili razvrstana prema boji, a takve bale sadrže i druge plastične i neplastične dodatke, kao što su čepovi, rukavci, etikete i dr.

Sljedeći stupanj je mljevenje, pri čemu je krajnji proizvod mljevina, koja može biti najniže kvalitete – neoprane i samljevene otpadne PET boce zajedno s etiketama i čepovima, odnosno najviše – mljevina koja je prošla kroz nekoliko sustava pranja i odvajanja čepova, etiketa i ostalih dodataka. Najviši stupanj recikliranja je izradba granulata, no i ovdje postoji razlika u kvaliteti regenerata, ovisno o stupnju čistoće, koji ovisi o zaostalom sadržaju drugih materijala, npr. poliolefina, PVC-a i drugog. Najvišu cijenu na tržištu postiže bezbojni regranulat PET-a, zatim plavi i zeleni prozirni, a najnižu cijenu postiže obojeni neprozirni regranulat.

Od regranulata se postupkom injekcijskog prešanja mogu praviti predoblici, od kojih se rade nove boce. Najčešće se čistom, novom PET-u dodaje određena količina regenerata, prema zahtjevu kupca.

U nastavku je opisan sustav recikliranja otpadnih PET boca.

1. Prihvat i razvrstavanje otpadnih PET boca

Sva dopremljena ambalaža skladišti se na otvorenom skladištu u rasutom stanju ili isprešana u bale. Ambalaža se viličarima doprema do transportnih traka linije za razvrstavanje. Tu se ručno izdvajaju pojedine vrste plastične ambalaže te odvajaju u zasebne silose. Plastična se ambalaža razvrstava na onu načinjenu od PP, PS, PE-HD, PE-LD te na onu načinjenu od ostale plastike. PET boce razvrstavaju se po boji na prozirne, plave, zelene i ostale PET boce.

Iz silosa se sva razvrstana plastika (PP, PS, PE-HD, PE-LD, PET pивske boce te boce za mlijеčne proizvode i ostala plastika), osim PET boca za napitke, transportnim trakama odvodi na baliranje, a PET boce odlaze na liniju za pranje i mljevenje.

2. Pranje i mljevenje PET boca

Razvrstane PET boce transportnom se trakom odvoде od silosa prema ulaznom lijevku linije za pranje i mljevenje PET boca. U prvom se dijelu pogona perforirane boce peru uz izdvajanje etiketa i ostalog materijala koji nije PET. Oprani materijal dodatno se razvrstava kako bi se izdvojile PVC boce i boce s PVC etiketama. Boce s čepovima, ali bez etiketa, nakon toga se melju. Dobivena PET mljevina boca i čepova ide u taložnicu, gdje se PET mljevina odvaja od čepova. Kako je PET mljevina više gustoće nego voda, a čepovi su izrađeni od PP i PE čija je gustoća niža od gustoće vode, ona pada na dno taložnice, a mljevina čepova ispliva na površinu i prelijeva se u vibracijsko sito, gdje se ocijedi od vode. PET mljevina s dna taložnice zatim se intenzivno pere te slijede: ispiranje, sušenje i spremanje u velike vreće.

Prozirna PET mljevina prerađuje se u PET regranulat (otprilike 70 % proizvodnje), a obojena PET mljevina (otprilike 30 % proizvodnje) izvozi se u zemlje Europske unije.

3. Regranuliranje

PET mljevina se kontinuirano pužnim transporterom unosi u sušnik na kontinuirano sušenje, dalje u podtlačni (vakuumski) kristalizator te se zatim zagrijava u ekstruderu na potrebnu temperaturu taljevine od 280 °C. Rastaljeni materijal u obliku rezanaca se hladi

i odvodi do rotacijskog noža, gdje se izrezuje u granule koje se zatim kristalizira. Dobiveni PET regranulat zatim se sprema u velike vreće.

4. Izradba predoblika

PET regranulat se od linije za regranuliranje doprema do prihvatnih lijevaka linije za izradu predoblika PET boca, gdje se miješa sa svježim granulatom i pigmentom. Ta se smjesa nakon sušenja dovodi do pužnoga vijka ubrizgavalice. Rastaljeni se i homogenizirani materijal ubrizgava u kalupe temperirane vodom. Gotovi se predoblici prenose na liniju za hlađenje, pakiraju i otpremaju u skladište gotovih proizvoda.

5.6. Procjena utjecaja na okoliš - LCIA analiza

Procjena životnog utjecaja na okoliš strukturirana je na analogan način kao i faza analize inventara. Klasifikacija emisija (dobivenih iz faze analize inventara) napravljena je unutar računalnog alata *Gabi*. U sljedećem koraku množene su emisije faktorima karakterizacije kako bi se dobio utjecaj na okoliš pojedine središnje kategorije. Nakon dobivanja utjecaja na okoliš pojedine središnje kategorije, podatci su pomoću krajnjih faktora prebačeni u konačan utjecaj na okoliš.

Kako su krajnjem korisniku analize najčešće zanimljivi krajnji rezultati, isti su stoga prikazani za sve životne faze. Za sveukupan životni vijek proizvoda prikazani su rezultati za krajnje kategorije. Nad rezultatima krajnjih kategorija izvršena je normalizacija kako bi korisnik imao uvid u veličinu utjecaja životnog vijeka na okoliš prema utjecaju prosječnog Europljanina.

5.6.1. Procjena utjecaja bočica na okoliš

Nakon pokretanja računalnog alata *Gabi* potrebno je uključiti baze podataka koje se nalaze u sklopu alata ili se mrežno povezati s knjižnicom baze podataka. Program izračunava moguće utjecaje na okoliš kao i druge važne vrijednosti proizvodnog sustava koji se temelji na planovima. Plan nakon određivanja cilja, granica sustava i funkcije proizvoda predstavlja sustav u kojem se postavljaju i proučavaju stvarni procesi koji se u njemu odvijaju. Tok predstavlja sve materijale i energijske tokove koji prolaze između procesa i iz sustava te određuju ulaze i izlaze tokova sustava. Tokovi također označuju masu, energiju i troškove.

Program sadrži informacije o tokovima za različite sirovine, plastiku, emisije u zrak i vodu. Tokovi sadrže informacije o tome koliko jedna jedinica toka doprinosi utjecajem na okoliš.

Prema odabranom proizvodu odabire se proces (ekstruzijsko puhanje) i postavlja u plan. Odabrane su postavke koji označuju zemlju i vrstu procesa s ciljem boljeg razumijevanja proizvodnog sustava (u ovom slučaju odabran je jedinični proces oznake u-so – kao proizvodnja jediničnih dijelova). Jedinični proces odabran je jer se ne primjenjuje višestruki proces (ne postoji sklapanje raznih vrsta materijala) te ne sadrži LCI podatke niti negativne tokove.

Dodatni procijenjeni podatci koji se odnose na ulaze i izlaze te pomažu prilikom procjene su masa PP bočice od 0,09 kg te potrošnja električne energije od 15,8 kWh za izradbu narudžbe od 1000 komada. [41]

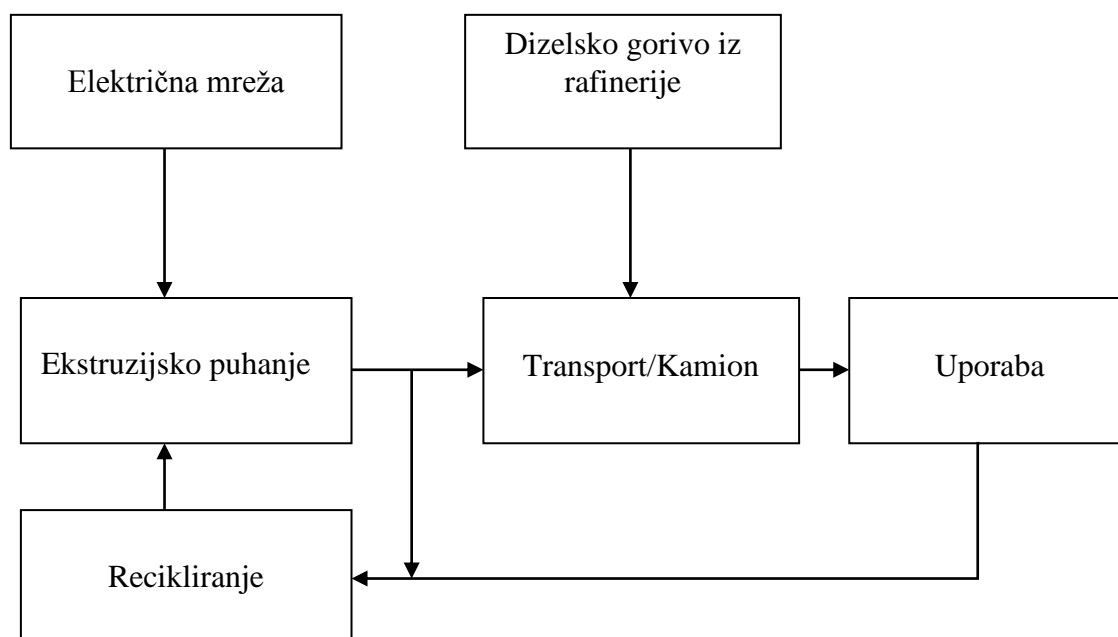
Kako bi se izračunao mogući utjecaj na okoliš potrebno je razumjeti prirodu ulaznih i izlaznih tokova koji moraju biti određeni kao osnovni ili neosnovni tokovi. Osnovni tokovi su oni koji ulaze u sustav iz prirode te tokovi koji izlaze iz proizvodnog sustava u okoliš (emisije u zrak, vodu, tlo). Emisija ugljikova dioksida koja proizlazi iz proizvodnje također je osnovni tok. Neosnovni tokovi su samo oni koji se kreću unutar sustava, ne dolaze izravno iz prirode te ne napuštaju sustav.

Potrebno je unutar procesa odrediti koji tok je osnovni tok, tok koji obuhvaća otpad te koji je prateći tok, tj. onaj koji omogućuje i uključuje mogućnost ponovne uporabe vrijednih tvari i energije u nekom postupku. Prije postavljeni tokovi označeni su kao prateći jer ostaju u sustavu (otpad od skidanja srha ponovno će se rabiti prilikom proizvodnje bočice, a i sama električna energija je vrijedna informacija pa je također označena kao prateći tok).

Nakon postavljanja čimbenika proizvodnje slijedi opisivanje transporta koji se odvija nakon izradbe bočica sve do dovoza bočica na police trgovina, tj. do potrošača. Pod transport spadaju utjecaji koji opterećuju okoliš kao što su udaljenost na koju se prevozi preko ispušnih plinova kamiona do proizvodnje dizela kao pogonsko gorivo, uz odvoz na zbrinjavanje otpada.

Uporaba bočice nema utjecaj na okoliš (ne troši se energija, niti postoje kakve štetne emisije), a kako bi se zatvorio i prikazao cijeli životni vijek potrebno je na kraju dodati još i granu koja predstavlja kraj životnog vijeka i postupanje s bočicom kao otpadom. To se postiže

stvaranjem zasebnog plana kojim se mogu optimirati razne vrste zbrinjavanja otpada i oporabe. Pretpostavlja se kako će bočica biti razvrstana u plastični otpad na mjestu nastanka otpada ili u nekom središta za zbrinjavanje otpada. Iskorištene bočice zajedno s otpadom iz proizvodnje (bočice nezadovoljavajuće kakvoće, ostatci srha) materijalno se oporabljuju te se granulat ponovno iskorištava kao sirovina za proizvodnju kao što je prikazano na slikama 5.10.



Slika 5.10. Prikaz životnog vijeka PP bočice

Nakon modeliranja sustava, sljedeći korak je grafički prikaz utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš. Neki od utjecaja prikazani su na slici 5.10. Prikaz se sastoji od dobivenih rezultata modeliranog sustava koji sadrži LCI i LCIA rezultate.

Električna energija služi za pogon stroja za ekstruzijsko puhanje kako bi se mogla proizvesti bočica. Kao ulazne veličine za ekstruzijsko puhanje odabrane električna energija (15,8 kWh) i PP. Rezultat preradbe i izlazna veličina je PP bočica. Osim dobivene PP bočice kao izlazna veličina pojavljuje se i skinuti srh koji je posljedica ekstruzijskog puhanja. Srh kao i bočice nezadovoljavajuće kvalitete spadaju pod otpad te se mogu ponovno preraditi i iskoristiti kao ulazna sirovina za ekstruzijsko puhanje. Nakon preradbe slijedi pakiranje i otprema, no kao što je prije navedeno utjecaj pakiranja nije uzet u obzir prilikom analize.

Kao sljedeći korak u životnom vijeku slijedi transport do mjesta prodaje. Ulazne veličine koje se javljaju u tom koraku su dizelsko gorivo dobivenom preradbom nafte u rafinerijama i dopremljeno do benzinskih crpki koje služi kao pogonsko gorivo za pogon kamiona, a prema tome i transport PP bočica. Pod izlazne veličine spadaju i potrošnja goriva, emisija ispušnih plinova i štetnih tvari te broj prijeđenih kilometara. Procijenjen broj prijeđenih kilometara je 600 km jer je uzet u obzir prijevoz sakupljenih bočica i ostalog plastičnog otpada do Gračaca u postrojenja tvrtke *Eko Velebit* gdje se obavlja razdvajanje i preradba u potrebnu sirovinu.

Prednosti recikliranja plastike su u tome što proizvodi trećinu sumporovog dioksida, oko 90 % manje otpada i oko 250 % manje ugljikovog dioksida. Nedostatak je taj što je transport plastike jednako skup ili skuplji od dobitaka recikliranja. To znači da oko 2,5 puta manje proizvedenog ugljikovog dioksida ne uzima u obzir ugljikov dioksid nastao prilikom transporta i prilikom rada strojeva za recikliranje. [39]

Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost je od 2009. počeo probno odvojeno prikupljanje i ostalog plastičnog otpada, stoga je bio raspisan natječaj za gospodarenje ostalim polimerima, a koncesiju na deset godina dobila je tvrtka *Eko Velebit* koja je otvorila novi pogon u Gračacu. Tvrtka *Eko Velebit* u suradnji s lokalnom komunalnom tvrtkom Čistoća započela je s otkupom ambalaže od polietilena i polipropilena koje se uglavnom upotrebljava za šampone, deterdžente, vrećice, kutije za hranu i slično, dok ambalažu od ostalih vrsta materijala samo preuzima za zbrinjavanje. Ambalaža od polietilena i polipropilena u početku se sakupljala uz naknadu, a prikupljala se i ambalaža od PVC-a i ostalih polimernih materijala, iako se za nju nije isplaćivala naknada, jer je tvrtka *Eko Velebit* dobila nacionalnu koncesiju za obradu svih vrsta otpada od polimernih materijala. Međutim, *Eko Velebit* se financira samo iz tog PE i PP isplativog dijela, budući da se preradom ostalih vrsta ambalaže ne može ostvariti dovoljna ekonomska dobit da bi se i za nju izdvajala sredstva za otkup. [39]

Ambalažni otpad koji dolazi na preradu najprije se razvrstava, melje, pere, te suši kako bi se uputio na granuliranje. U tu svrhu *Eko Velebit* je kupio dvije linije za potpunu obradu PE i PP uključujući i posebne ekstrudere koji svojim ugrađenim filtrima jamče uklanjanje preostalih nečistoća i kvalitetan proizvod, a reciklat se prodaje na međunarodnoj burzi plastike. Kapacitet preradbe je oko 10 tisuća tona godišnje, a procijenjeno je da je u Republici Hrvatskoj u opticaju oko 120 tisuća tona polimernih materijala. Predviđanja su da će sustav

sakupljanja u sljedećih nekoliko godina osigurati za recikliranje 10 % od te procijenjene količine.

Nakon obradbe i preradbe za ponovnu uporabu, granulat se ponovno transportira i vraća u ciklus proizvodnje.

Prema Zakonu o Fondu za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, okolišne naknade se dijele na četiri kategorije: [43]

1. Naknada onečišćivača okoliša – naknade na emisije ugljikovog dioksida, oksida sumpora i oksida dušika u okoliš. Ove naknade se plaćaju prema količini emisije u tonama, a izračunavaju se prema izrazu:

$$N = N_1 \cdot E \cdot k_k$$

u kojem je:

N – iznos naknade na emisiju CO₂, SO₂ ili NO₂ u kunama,

N₁ – naknada za jednu tonu emisije CO₂, SO₂, NO₂

E – količina emisije u tonama u kalendarskoj godini,

k_k – korektivni poticajni koeficijent ovisan o količini i podrijetlu emisije.

2. Naknada korisnika okoliša – naknada za građevine za koje je propisana obveza provođenja postupka procjene utjecaja na okoliš. Iznos naknade korisnika okoliša za pojedinu građevinu izračunava se prema izrazu:

$$N = Z_{z1z2z3} \cdot N_1 \cdot k_k$$

u kojem je:

N – iznos naknade korisnika okoliša u kunama,

Z_{z1z2z3} – prostorna, tehnička i tehnološka značajka građevine ili građevne cjeline u kojoj je z1 prostorna, z2 tehnička, a z3 tehnološka značajka izražena u odgovarajućoj mjernoj jedinici,

N_1 – naknada za mjernu jedinicu prostorne, tehničke i tehnološke značajke,

k_k – korektivni koeficijent ovisan o stupnju utjecaja građevine ili građevne cjeline na okoliš.

3. Naknade za opterećivanje okoliša otpadom Naknada na komunalni otpad i/ili neopasni tehnološki otpad izračunava se prema izrazu:

$$N = N_1 \cdot O$$

u kojem je:

N – iznos naknade na komunalni i/ili neopasni tehnološki otpad u kunama,

N_1 – naknada za jednu tonu odloženoga komunalnog i/ili neopasnoga tehnološkog otpada,

O – količina odloženoga komunalnog i/ili neopasnoga tehnološkog otpada u kalendarskoj godini. Iznos naknade na opasni otpad izračunava se prema izrazu:

$$N = N_1 \cdot P \cdot k_k$$

u kojem je:

N – iznos naknade na opasni otpad u kunama,

N_1 – naknada za jednu tonu proizvedenog a neobrađenog ili neizvezenoga opasnog otpada,

P – količina proizvedenog a neobrađenog ili neizvezenoga opasnog otpada u kalendarskoj godini,

k_k – korektivni koeficijent ovisan o karakteristikama opasnog otpada.

4. Posebne naknade na vozila na motorni pogon – plaćaju se pri registraciji vozila, a izračunavaju se prema izrazu:

$$P_N = N_o \cdot k_k$$

u kojem je:

P_N – iznos posebne naknade u kunama,

N_o – osnovna naknada za pojedinu vrstu vozila,

k_k – korektivni koeficijent ovisan o vrsti motora i pogonskoga goriva, radnom obujmu ili snazi motora i starosti vozila.

Jedan od glavnih ciljeva spomenutih mjera jest dovesti štetne emisije u okvire propisane Zakonom o zaštiti zraka. [44, 45]

U tablici 5.1 prikazan je popis svih tokova. To je inventar životnog ciklusa, tj. svi tokovi koji ulaze u sustav iz prirode u obliku resursa i sirovina te oni koji izlaze u obliku emisija u zrak, pitku i morsku vodu te tlo. Vide se postotne vrijednosti za svaku kategoriju toka.

Tablica 5.1. Svi tokovi u sustavu

LCA/PP bočica	
Tokovi	100 %
Resursi	49 %
- resursi/energija	0,0113 %
- neobnovljivi izvori energije	0,0113 %
- sirovine	49 %
- neobnovljivi elementi	$-1,7 \cdot 10^{-5}$ %
- neobnovljivi resursi	0,122 %
- obnovljivi elementi	48,8 %
Sirovine	$-1,09 \cdot 10^{-5}$ %
Ostatci nakon proizvodnje	0,000393 %
- otpad za ponovnu uporabu	0,000393 %
Radioaktivan otpad	$2,97 \cdot 10^{-5}$ %
Emisije u zrak	0,297 %
- teški metali	$1,93 \cdot 10^{-8}$ %
- anorganske tvari	0,198 %
- organske tvari	$3,13 \cdot 10^{-5}$ %
- ostale emisije u zrak	0,0997 %
- čestice u zrak	$4,1 \cdot 10^{-6}$ %
- pesticidi u zrak	$1,77 \cdot 10^{-10}$ %

Tablica 5.2. Svi tokovi u sustavu (nastavak)

- radioaktivne tvari u zraku	$7,22 \cdot 10^{-16} \%$
Emisije u pitku vodu	50,5 %
- teški metali	$1,47 \cdot 10^{-5} \%$
- anorganske tvari	0,000228 %
- organske tvari	$4,9 \cdot 10^{-6}$
- ostale emisije	48,5 %
- čestice u pitku vodu	$5,12 \cdot 10^{-5} \%$
- radioaktivne tvari	2,08 %
Emisije u morsku vodu	0,0692 %
- teški metali	$6,51 \cdot 10^{-10} \%$
- anorganske tvari	$5,81 \cdot 10^{-6} \%$
- organske tvari	$3,47 \cdot 10^{-9} \%$
- ostale emisije	0,0692 %
- čestice u morsku vodu	$8,13 \cdot 10^{-7} \%$
Emisije u poljoprivredno tlo	$6,97 \cdot 10^{-8} \%$
- teški metali	$1,68 \cdot 10^{-11} \%$
- anorganske tvari	$6,97 \cdot 10^{-8} \%$
- organske tvari	$4,95 \cdot 10^{-12} \%$
- ostale emisije	$1,49 \cdot 10^{-19} \%$

Jedna mogućnosti programa je i prepoznavanja slabih točaka, tj onih točaka u životnom vijeku koje su odgovorne za stvaranje više od 10 % ukupnog broja kg CO₂ ili mogu biti predstavljene u nekoj drugoj mjernoj jedinici. Slabe točke označene su crvenom bojom, dok su ostale vrijednosti u sivoj boji što znači da minimalno doprinose ukupnom rezultatu. Neki stupci i redovi nemaju u sebi brojčane oznake što znači kako uopće nemaju nikakav doprinos.

Alokacija predstavlja jedan od većih problema u LCA analizi. Postoje mnogi slučajevi kada ulazne veličine u neki proizvodni sustav potječu iz drugog proizvodnog sustava (ili više njih), kao i kad se izlazne veličine iz proizvodnog sustava nastavljaju u drugom proizvodnom sustavu (ili više njih). To znači da neki postupci spadaju u više proizvodnih sustava, te se utjecaj na okoliš tih procesa treba podijeliti između usluga koje pružaju proizvodi iz tih sustava. Načelno postoje dva načina na koji proces može doprinijeti nastanku više od jedne usluge:

- u slučaju da više proizvoda nastaje iz istog procesa
- u slučaju oporabe materijala ili podsklopa proizvoda.

Ovaj se problem rješava, prema normi ISO 14044, na sljedeća tri načina:

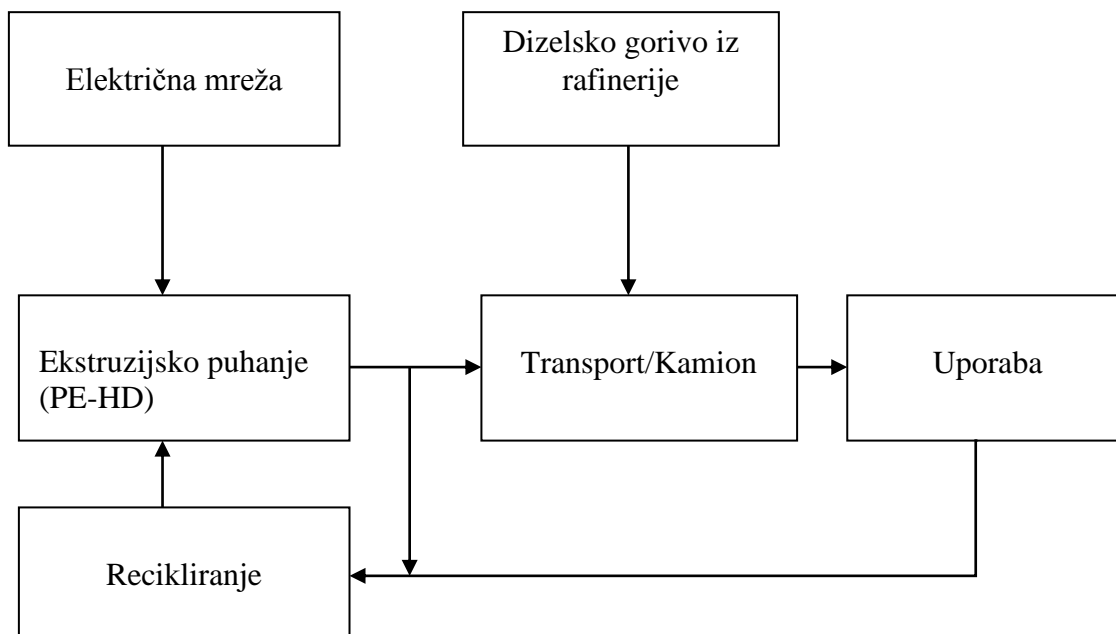
- Kad god je to moguće, nastojati izbjeći alokaciju. Pokušati podijeliti sporne postupke na više podpostupaka ili prilagoditi granice sustava da se izbjegne alokacija.
- Kada nije moguće izbjeći alokaciju, a proizvodi nastali iz zajedničkih postupaka se mogu okarakterizirati istom funkcijskom jedinicom, utjecaj treba podijeliti u omjeru proizvedene funkcijske jedinice.
- Ako se proizvodi ne mogu okarakterizirati zajedničkom funkcijskom jedinicom, valja pronaći neku drugu osnovu za raspodjelu. Na primjer, osnova za raspodjelu može biti masa proizvoda ili ekonomska vrijednost.

Tablica 5.3. Slabe točke sustava

	PP bočica	Dizel. gorivo	El. energija	Kamion
Tok	$4,58 \cdot 10^7$	1,01	$4,58 \cdot 10^7$	0,007
Resursi	$2,24 \cdot 10^7$	0,5	$2,24 \cdot 10^7$	0
Energija	$5,19 \cdot 10^3$	$2,47 \cdot 10^{-3}$	$5,19 \cdot 10^3$	0
Neobnov. resursi	$5,19 \cdot 10^3$	$2,47 \cdot 10^{-3}$	$5,19 \cdot 10^3$	0
Materijal	$2,24 \cdot 10^7$	0,498	$2,24 \cdot 10^7$	0
Neobnovljivi tvari	-8,04	$5,87 \cdot 10^{-6}$	-8,04	0
Neobnovljivi resursi	$5,58 \cdot 10^4$	$8,73 \cdot 10^{-4}$	$5,58 \cdot 10^4$	0
Obnovljivi resursi	$2,24 \cdot 10^7$	0,497	$2,24 \cdot 10^7$	0
Vrijedne tvari	-5	0	0	0
Materijal	-5	0	0	0
Plastika	-5	0	0	0
Otpad/srh	-95	0	0	0
PP bočica	90	0	0	0
Ostatci nakon proizvodnje	180	0	0	0
Otpad	180	0	0	0
PP	180	0	0	0
Emisije u zrak	$1,36 \cdot 10^5$	0,202	$1,36 \cdot 10^5$	0,007
Teški metali	$8,83 \cdot 10^{-3}$	$1,71 \cdot 10^{-9}$	$8,83 \cdot 10^{-3}$	0
Anorganske tvari	$9,06 \cdot 10^4$	0,201	$9,06 \cdot 10^4$	$6,99 \cdot 10^{-3}$
Organske tvari	14,3	$1,06 \cdot 10^{-5}$	14,3	$2,03 \cdot 10^{-6}$
Ostale emisije	$4,57 \cdot 10^4$	$1,01 \cdot 10^{-3}$	$4,57 \cdot 10^4$	0
Čestice	1,88	$1,67 \cdot 10^{-7}$	1,88	$1,04 \cdot 10^{-6}$
Pesticidi u zrak	$8,10 \cdot 10^{-5}$	$5,05 \cdot 10^{-12}$	$8,10 \cdot 10^{-5}$	0
Radioaktivne tvari	$3,31 \cdot 10^{-10}$	$4,61 \cdot 10^{-18}$	$3,31 \cdot 10^{-10}$	0
Emisije u pitku vodu	$2,32 \cdot 10^7$	0,304	$2,32 \cdot 10^7$	0
Teški metali	6,75	$9,41 \cdot 10^{-8}$	6,75	0
Anorganske tvari	105	$2,77 \cdot 10^{-4}$	105	0
Organske tvari	2,24	$1,30 \cdot 10^{-5}$	2,24	0
Ostale emisije	$2,22 \cdot 10^7$	0,294	$2,22 \cdot 10^7$	0
Čestice	23,5	$1,32 \cdot 10^{-4}$	23,5	0
Radioaktivne tvari	$9,54 \cdot 10^5$	$9,57 \cdot 10^{-3}$	$9,54 \cdot 10^5$	0
Emisije u morsku vodu	$3,17 \cdot 10^4$	$4,22 \cdot 10^{-4}$	$3,17 \cdot 10^4$	0
Teški metali	$2,98 \cdot 10^{-4}$	$6,07 \cdot 10^{-9}$	$2,98 \cdot 10^{-4}$	0
Anorganske tvari	2,66	$6,38 \cdot 10^{-5}$	2,66	0
Organske tvari	$1,59 \cdot 10^{-3}$	$3,78 \cdot 10^{-8}$	$1,59 \cdot 10^{-3}$	0
Ostale emisije	$3,17 \cdot 10^4$	$3,58 \cdot 10^{-4}$	$3,17 \cdot 10^4$	0
Čestice	0,373	$8,42 \cdot 10^{-7}$	0,373	0
Emisije u tlo	$3,19 \cdot 10^{-2}$	$1,49 \cdot 10^{-9}$	$3,19 \cdot 10^{-2}$	0
Teški metali	$7,68 \cdot 10^{-6}$	$7,52 \cdot 10^{-13}$	$7,68 \cdot 10^{-6}$	0
Anorganske tvari	$3,19 \cdot 10^{-2}$	$1,49 \cdot 10^{-9}$	$3,19 \cdot 10^{-2}$	0
Organske tvari	$2,27 \cdot 10^{-6}$	$1,83 \cdot 10^{-14}$	$2,27 \cdot 10^{-6}$	0

Ostale emisije	$6,81 \cdot 10^{-14}$	$4,85 \cdot 10^{-22}$	$6,81 \cdot 10^{-14}$	0
Nastavak tablice 5.3				
Tok	Ekst. puhanje	Recikliranje	Uporaba	
Resursi	85	90	0	
Energija	0	0	0	
Neobnovljivi resursi	0	0	0	
Materijal	0	0	0	
Neobnovljive tvari	0	0	0	
Neobnovljivi resursi	0	0	0	
Obnovljivi resursi	0	0	0	
Vrijedne tvari	0	0	0	
Materijal	-5	0	0	
Plastika	-5	0	0	
Otpad/srh	-5	0	0	
PP bočica	-5	0	-90	
Ostatci nakon proizvodnje	0	0	90	
Otpad	90	90	0	
PP	90	90	0	
Emisije u zrak	90	90	0	
Teški metali	0	0	0	
Anorganske tvari	0	0	0	
Organske tvari	0	0	0	
Ostale emisije	0	0	0	
Čestice	0	0	0	
Pesticidi u zrak	0	0	0	
Radioaktivne tvari	0	0	0	
Emisije u pitku vodu	0	0	0	
Teški metali	0	0	0	
Anorganske tvari	0	0	0	
Organske tvari	0	0	0	
Ostale emisije	0	0	0	
Čestice	0	0	0	
Radioaktivne tvari	0	0	0	
Emisije u morsku vodu	0	0	0	
Teški metali	0	0	0	
Anorganske tvari	0	0	0	
Organske tvari	0	0	0	
Ostale emisije	0	0	0	
Čestice	0	0	0	
Emisije u tlo	0	0	0	

Sljedeća analiza provedena je s PE-HD kao materijalom za izradbu. Način proizvodnje, uporabe kao i životni vijek PE-HD bočice (prikazan na slici 5.11) te procijenjeni podatci ostaju jednaki kao i kod PP bočice.



Slika 5.11. Životni vijek PE-HD bočice

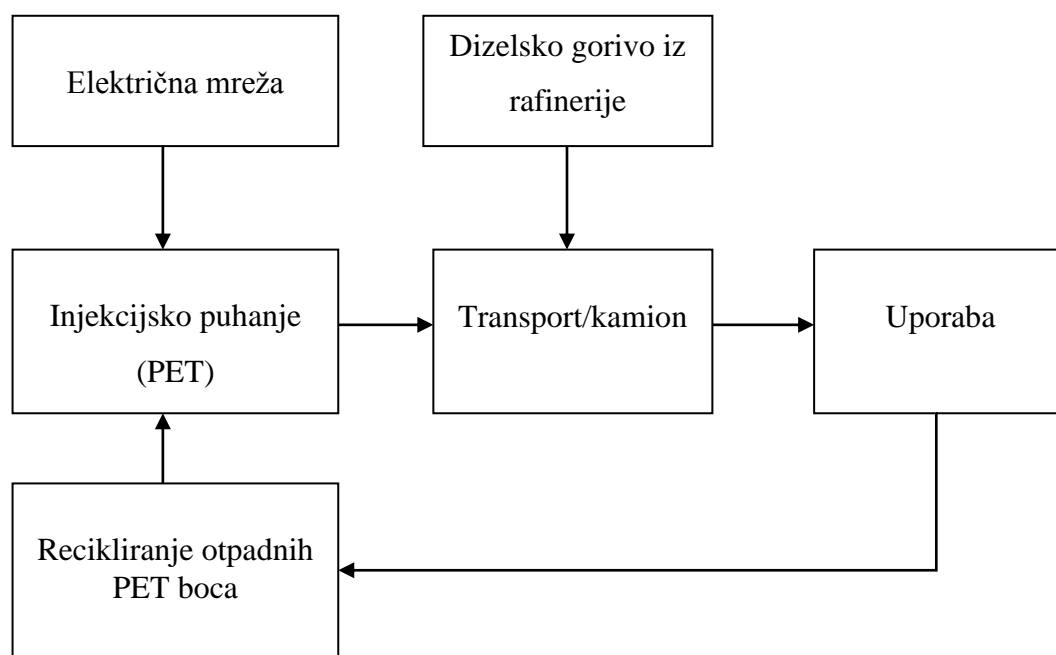
Iz dobivenih dijagrama moguće je očitati utjecaje na okoliš i to u prije ugrađenim kategorijama kao i u CML kategoriji utjecaja.

U tablici 5.4 prikazane su slabe točke sustava. Iznosi i mjesta slabih točaka analize utjecaja PE-HD bočice ne razlikuju se u velikim iznosima od analize provedene s PP bočicom. Početni i zadani čimbenici od ulaznih sirovina, preko proizvodnje i prijevoza do uporabe i zbrinjavanja u velikoj su mjeri slični kao i kod životnog vijeka PP bočice, pa stoga razliku čini sam materijal izradbe te njegov utjecaj na okoliš prilikom preradbe, prijevoza i materijalne uporabe.

Tablica 5.4. Slabe točke sustava (PE-HD)

	PE-HD bočica	Dizel. gorivo	El. energija	Kamion
Tok	$4,64 \cdot 10^7$	101	$4,64 \cdot 10^7$	0,7
Resursi	$2,27 \cdot 10^7$	50	$2,27 \cdot 10^7$	0
Energija	$5,26 \cdot 10^3$	$2,47 \cdot 10^{-3}$	$5,26 \cdot 10^3$	0
Neobnov. resursi	$5,26 \cdot 10^3$	$2,47 \cdot 10^{-3}$	$5,26 \cdot 10^3$	0
Materijal	$2,27 \cdot 10^7$	49,8	$2,27 \cdot 10^7$	0
Neobnovljivi tvari	-8,14	$5,87 \cdot 10^{-6}$	-8,14	0
Neobnovljivi resursi	$5,65 \cdot 10^4$	$8,73 \cdot 10^{-4}$	$5,65 \cdot 10^4$	0
Obnovljivi resursi	$2,27 \cdot 10^7$	49,7	$2,27 \cdot 10^7$	0
Vrijedne tvari	-5	0	0	0
Materijal	-5	0	0	0
Plastika	-5	0	0	0
Otpad	-5	0	0	0
Radioaktivan otpad	13,8	20,2	$1,38 \cdot 10^{-5}$	0,7
Emisije u zrak	$1,36 \cdot 10^5$	0,202	$1,36 \cdot 10^5$	0,007
Teški metali	$8,94 \cdot 10^{-3}$	$1,71 \cdot 10^{-9}$	$8,94 \cdot 10^{-3}$	0
Anorganske tvari	$9,18 \cdot 10^4$	20,1	$9,18 \cdot 10^4$	$6,99 \cdot 10^{-3}$
Organske tvari	14,5	$1,06 \cdot 10^{-5}$	14,5	$2,03 \cdot 10^{-4}$
Ostale emisije	$4,63 \cdot 10^4$	0,101	$4,63 \cdot 10^4$	0
Čestice	1,9	$1,67 \cdot 10^{-5}$	1,9	$1,04 \cdot 10^{-4}$
Pesticidi u zrak	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$5,05 \cdot 10^{-10}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$	0
Radioaktivne tvari	$3,3 \cdot 10^{-10}$	$4,61 \cdot 10^{-16}$	$3,35 \cdot 10^{-10}$	0
Emisije u pitku vodu	$2,35 \cdot 10^7$	30,4	$2,35 \cdot 10^7$	0
Teški metali	6,84	$9,41 \cdot 10^{-6}$	6,84	0
Anorganske tvari	106	0,0277	106	0
Organske tvari	2,27	$1,30 \cdot 10^{-5}$	2,24	0
Ostale emisije	$2,22 \cdot 10^7$	0,294	$2,22 \cdot 10^7$	0
Čestice	23,8	0,0132	23,8	0
Radioaktivne tvari	$9,66 \cdot 10^5$	0,957	$9,66 \cdot 10^5$	0
Emisije u morsku vodu	$3,21 \cdot 10^4$	0,0422	$3,21 \cdot 10^4$	0
Teški metali	$3,03 \cdot 10^{-4}$	$6,07 \cdot 10^{-7}$	$3,02 \cdot 10^{-4}$	0
Anorganske tvari	2,7	$6,38 \cdot 10^{-4}$	2,69	0
Organske tvari	0,00161	0,0358	$1,61 \cdot 10^{-3}$	0
Ostale emisije	$3,21 \cdot 10^4$	$3,58 \cdot 10^{-4}$	$3,21 \cdot 10^4$	0
Čestice	0,377	$8,42 \cdot 10^{-5}$	0,377	0
Emisije u tlo	$3,19 \cdot 10^{-2}$	$1,49 \cdot 10^{-9}$	$3,19 \cdot 10^{-2}$	0
Teški metali	$7,78 \cdot 10^{-6}$	$7,52 \cdot 10^{-11}$	$7,78 \cdot 10^{-6}$	0
Anorganske tvari	$3,23 \cdot 10^{-2}$	$1,49 \cdot 10^{-7}$	$3,23 \cdot 10^{-2}$	0
Organske tvari	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$1,83 \cdot 10^{-12}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	0
Ostale emisije	$6,9 \cdot 10^{-14}$	$4,85 \cdot 10^{-20}$	$6,9 \cdot 10^{-14}$	0

Posljednja provedena analiza je ona s PET bočicom (na slici 5.12 prikazan je životni vijek). Postupak izradbe bočice je injekcijsko puhanje. Budući da postupkom injekcijskog puhanja ne dolazi do pojave otpada, tj. nije potrebno skidanje srha, kao izlazna veličina iz postupka injekcijskog puhanja odabrana je samo proizvedena PET bočica. Procjenjena masa PET bočice je 0,2 kg, a električna energija potrebna za izradbu je 18 kWh. PET bočica nakon prijevoza do mjesta prodaje, uporabe i zbrinjavanja služi za izvor sirovine (granulata) za ponovnu preradbu i proizvodnju.



Slika 5.12. Životni vijek PET bočice

U tablici 5.5 prikazane su slabe točke sustava.

Tablica 5.5. Slabe točke sustava (PET)

	PET bočica	Dizel. gorivo	El. energija	Kamion
Tok	$8,12 \cdot 10^5$	101	$8,12 \cdot 10^5$	0,7
Resursi	$3,98 \cdot 10^5$	50	$3,98 \cdot 10^5$	0
Energija	92,3	0,247	92	0
Materijal	$3,98 \cdot 10^5$	49,8	$3,98 \cdot 10^5$	0
Neobnovljivi resursi	989	0,0873	989	0
Obnovljivi resursi	$3,97 \cdot 10^5$	49,7	$3,97 \cdot 10^5$	0
Vrijedne tvari	98,3	0	0	0
Materijal	98,3	0	0	0
Plastika	98,3	0	0	0
Otpad	-98,3	0	0	0
Radioaktivan otpad	0,241	$1,38 \cdot 10^{-5}$	0,241	0
Emisije u zrak	$2,44 \cdot 10^3$	20,2	$2,42 \cdot 10^3$	0,7
Teški metali	$1,57 \cdot 10^{-4}$	$1,71 \cdot 10^{-7}$	$1,57 \cdot 10^{-4}$	0
Anorganske tvari	$1,63 \cdot 10^3$	20,1	$1,61 \cdot 10^3$	0,699
Organske tvari	0,255	$1,06 \cdot 10^{-3}$	0,254	$2,03 \cdot 10^{-4}$
Ostale emisije	810	0,101	810	0
Čestice	0,0334	$1,67 \cdot 10^{-5}$	0,0333	$1,04 \cdot 10^{-4}$
Pesticidi u zrak	$1,44 \cdot 10^{-6}$	$5,05 \cdot 10^{-10}$	$1,44 \cdot 10^{-6}$	0
Radioaktivne tvari	$5,86 \cdot 10^{-12}$	$4,61 \cdot 10^{-16}$	$5,86 \cdot 10^{-12}$	0
Emisije u pitku vodu	$4,11 \cdot 10^5$	30,4	$4,11 \cdot 10^5$	0
Teški metali	0,12	$9,41 \cdot 10^{-6}$	0,12	0
Anorganske tvari	1,88	0,0277	1,85	0
Organske tvari	0,0411	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,0398	0
Ostale emisije	$3,94 \cdot 10^5$	29,4	$3,94 \cdot 10^5$	0
Čestice	0,429	0,0132	0,416	0
Radioaktivne tvari	$1,69 \cdot 10^4$	0,957	$1,69 \cdot 10^4$	0
Emisije u morsku vodu	562	0,0422	562	0
Teški metali	$5,89 \cdot 10^{-6}$	$6,07 \cdot 10^{-7}$	$5,89 \cdot 10^{-6}$	0
Anorganske tvari	0,0535	$6,38 \cdot 10^{-3}$	0,0472	0
Organske tvari	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$2,82 \cdot 10^{-5}$	0
Ostale emisije	562	0,0358	562	0
Čestice	0,00669	$8,42 \cdot 10^{-5}$	0,0066	0
Emisije u tlo	$5,66 \cdot 10^{-4}$	$1,49 \cdot 10^{-7}$	$5,66 \cdot 10^{-4}$	0
Teški metali	$1,36 \cdot 10^{-7}$	$7,52 \cdot 10^{-11}$	$1,36 \cdot 10^{-7}$	0
Anorganske tvari	$5,66 \cdot 10^{-4}$	$1,49 \cdot 10^{-7}$	$5,66 \cdot 10^{-4}$	0
Organske tvari	$4,02 \cdot 10^{-8}$	$1,83 \cdot 10^{-12}$	$4,02 \cdot 10^{-8}$	0
Ostale emisije	$1,21 \cdot 10^{-15}$	$4,85 \cdot 10^{-20}$	$1,21 \cdot 10^{-15}$	0

5.7. Tumačenje rezultata

Iz dobivenih dijagrama moguće je očitati utjecaje na okoliš i to u prije ugrađenim kategorijama kao i u CML kategoriji utjecaja. U okviru ove analize bit će korišteni generički podatci iz LCA baze podataka koje su sastavni dio programskog alata. Upotreba generičkih podataka uvelike skraćuje rok provedbe LCA analize, jer je upravo prikupljanje podataka vremenski i novčano najzahtjevniji proces vezan uz provedbu analize. Korištenje ovih podataka utječe i na točnost provođenja analize, ali je u ovom slučaju, ta razina točnosti i dalje zadovoljavajuća. Provedbom analize želi se dobiti odgovor na neka općenita pitanja kao što su koliko proizvodnja bočica utječe na okoliš, zdravlje ljudi itd.

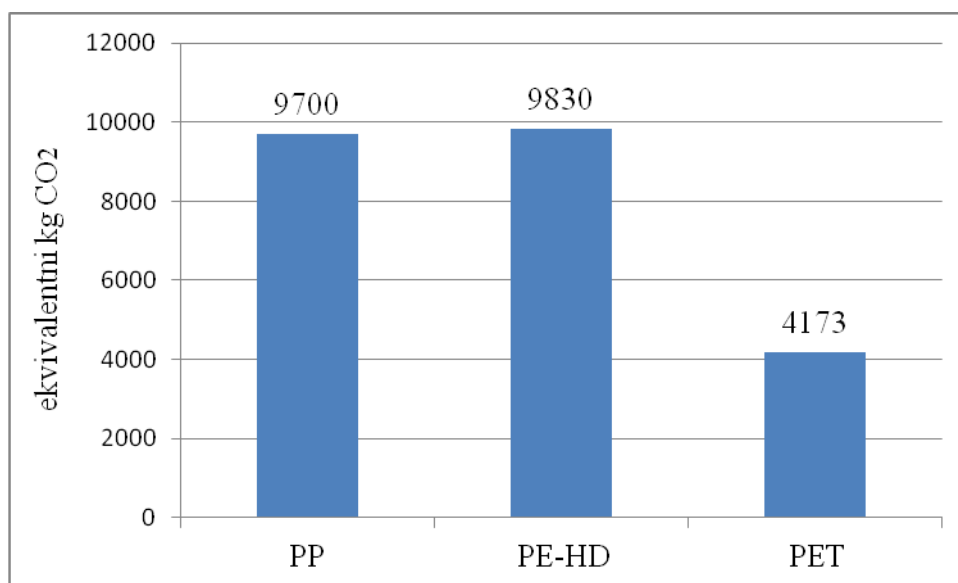
Programski alat sadrži različite baze podataka koje se mogu koristiti u projektima i smatraju se izvorom svih značajnih podataka o pojedinim postupcima. Baze sadrže okolišne podatke za proizvod ili postupak. Preporuča se rad s ponuđenim projektima i bazama iako je moguće napraviti, ako je to potrebno, specijaliziranu bazu.

Razmatranje posljedica posljedica na okoliš u pojedinim kategorijama utjecaja ovisi o postavljenim ciljevima i svrsi analize. Takva vrsta tumačenja zahtijeva rad i suradnju cijelog niza stručnjaka s različitih područja, kao što su toksikolozi, tehnolozi, ekonomisti, itd. Rezultati LCA analize mogu ukazati na dijelove životnog vijeka koji su problematični, bilo u ekološkom, ekonomskom ili u nekom drugom pogledu. Pa je tako moguće značajno utjecati na troškove proizvodnje, ali i ukupnog poslovanja, što je u današnje vrijeme jako bitno. Utjecaji se najčešće odnose na sljedeća područja: [46]

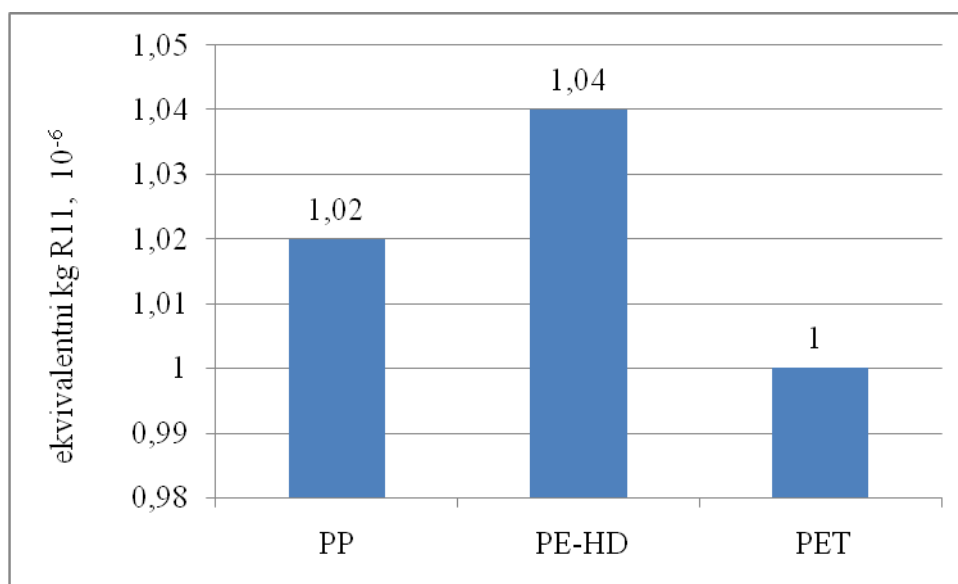
- troškovi onečišćenja okoliša (naknade za emisije štetnih tvari)
- troškovi vezani uz potrošnju energije i materijala
- troškovi sanacije u slučaju ekoloških incidenata
- troškovi gospodarenja otpadom.

Isto tako, LCA analiza može poslužiti u planiranju proizvodnje, kao osnova za tehnološku i operativnu pripremu. Na taj način se mogu i kvalitetno predvidjeti troškovi proizvodnje, što je važan strateški čimbenik poslovanja. LCA analiza je primjenjiva i za postupke javnog nadmetanja kod kojih se ISO 14040 uzimaju u obzir. [46]

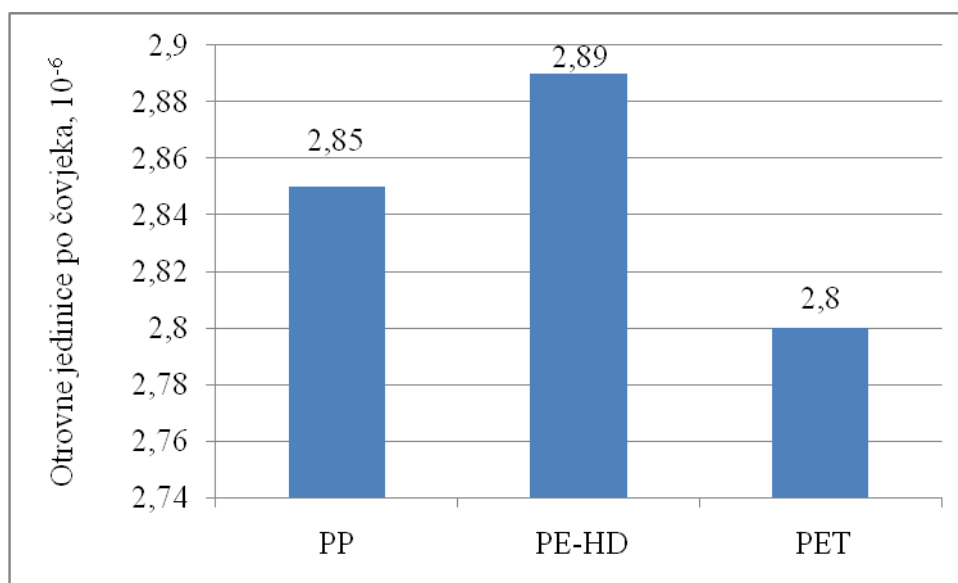
Kategorije utjecaja na okoliš koje je moguće odrediti prikazane su na slikama 5.13 – 5.24.



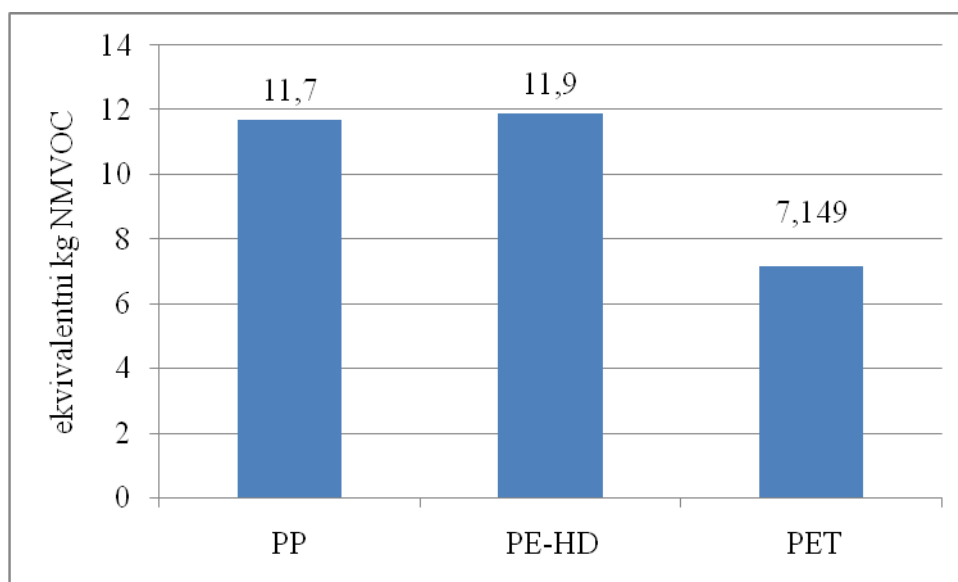
Slika 5.13. Utjecaj na globalno zagrijavanje



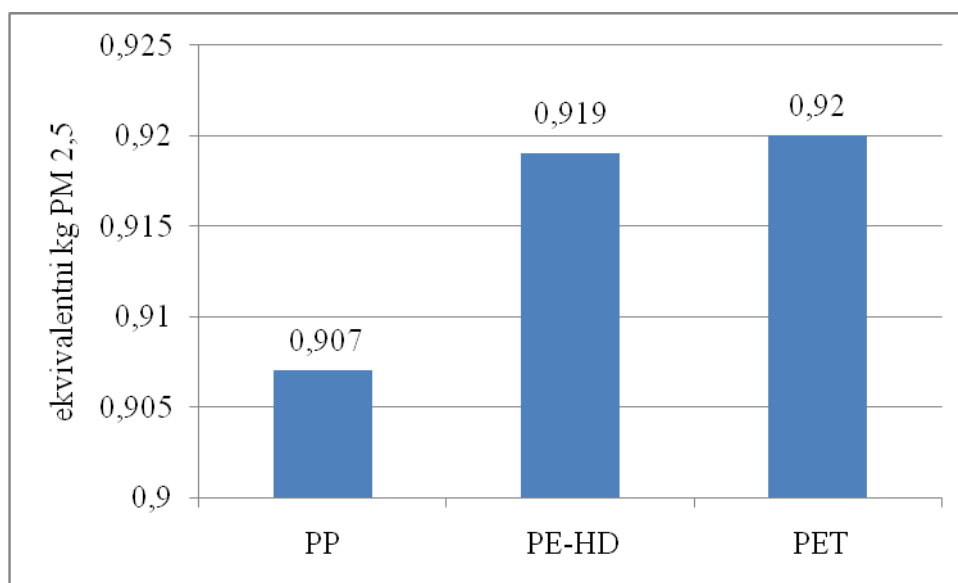
Slika 5.14. Smanjenje ozonskog sloja



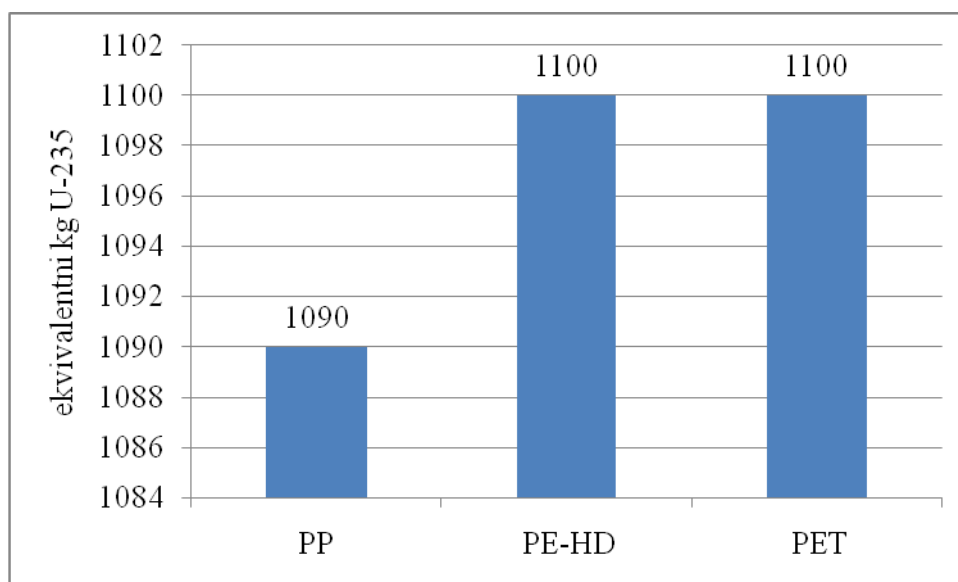
Slika 5.15. Otrovnost po čovjeka



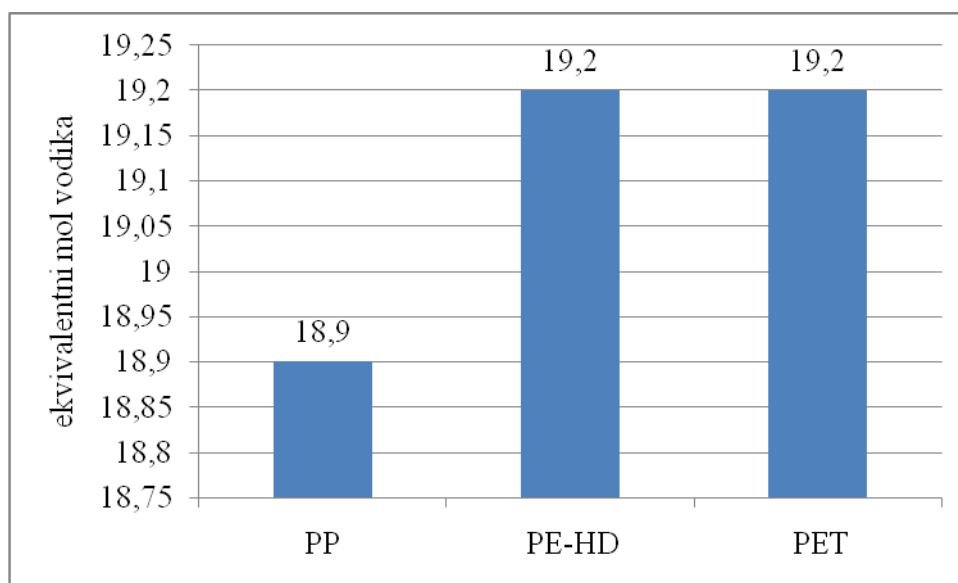
Slika 5.16. Fotokemijska oksidacija



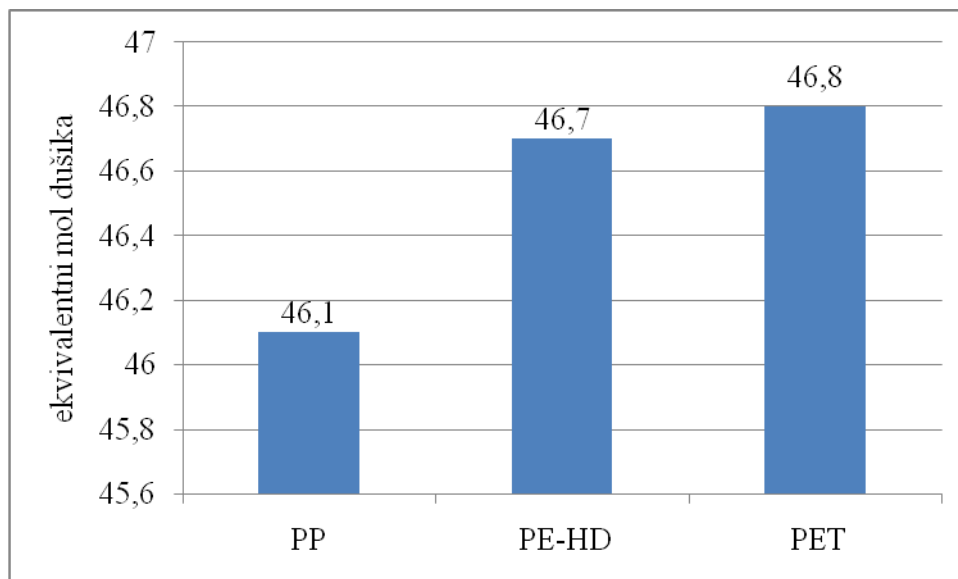
Slika 5.17. Utjecaj na dišne organe



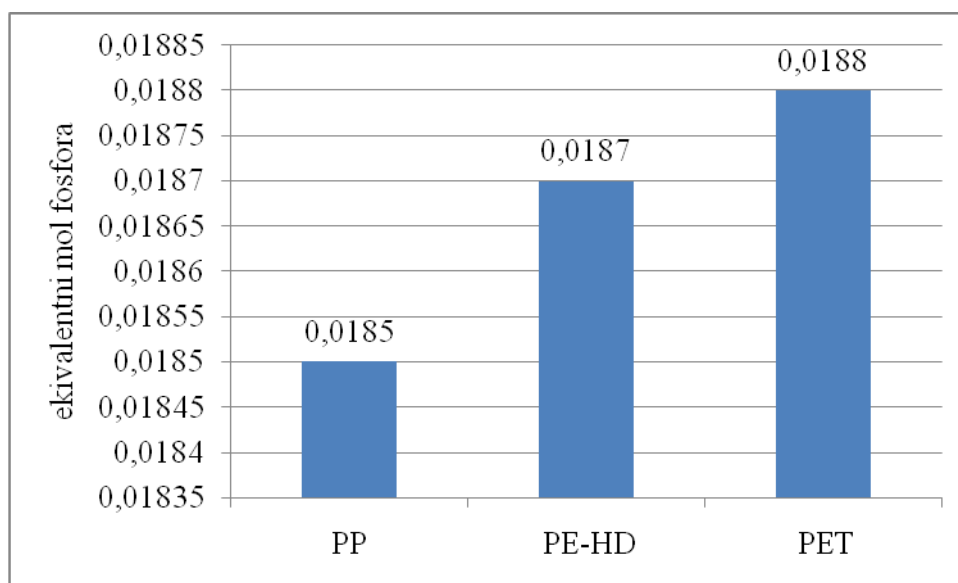
Slika 5.18. Ionizirajuće zračenje



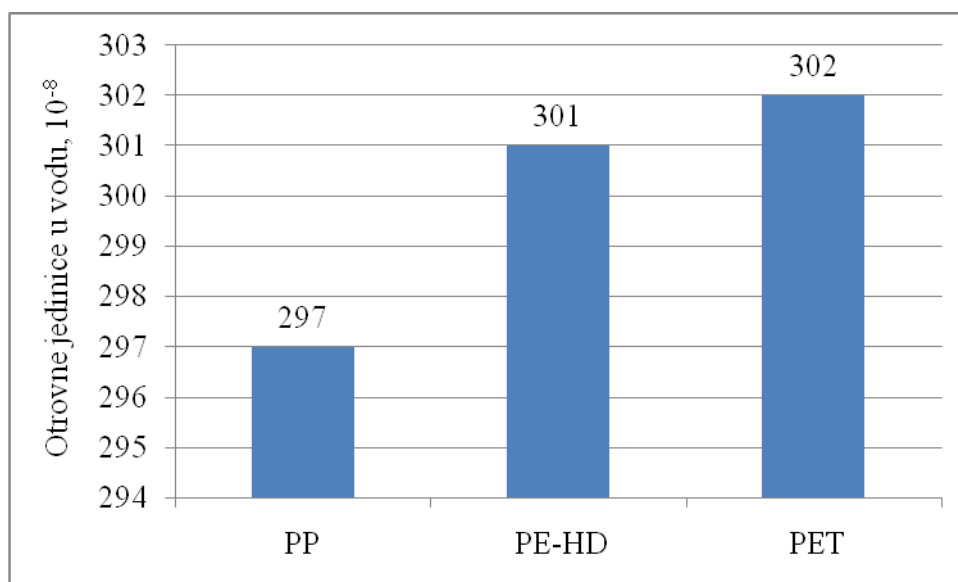
Slika 5.19. Acidifikacija



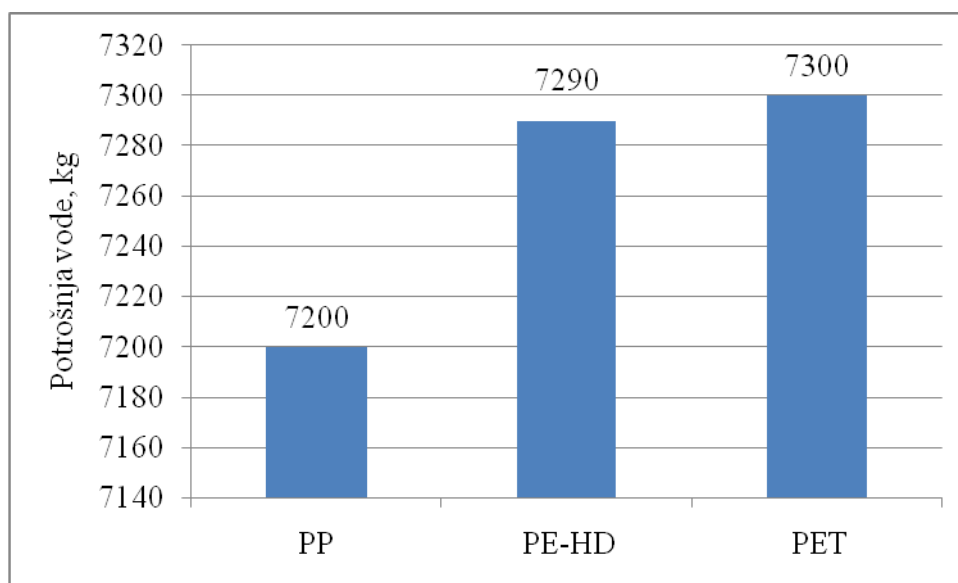
Slika 5.20. Povećanje kiselosti tla



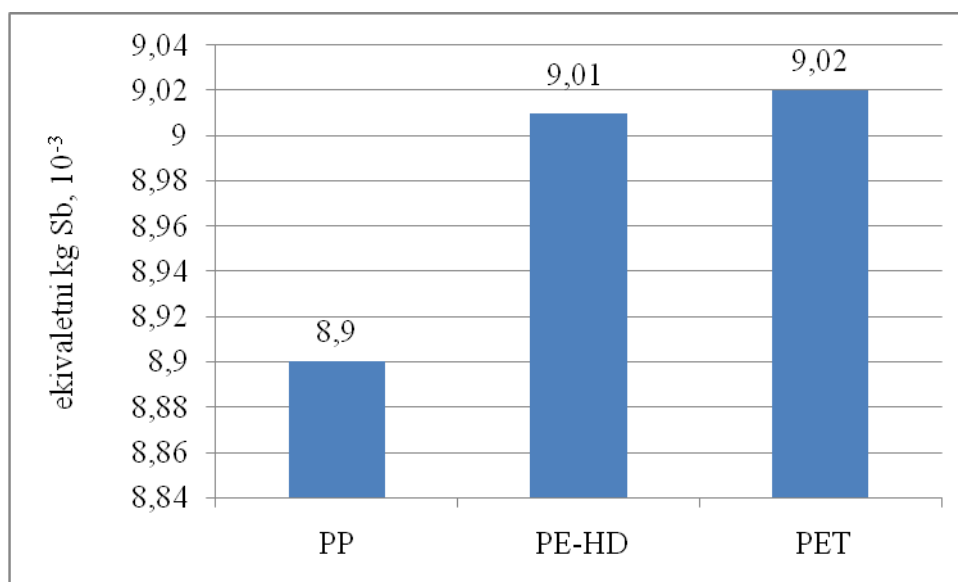
Slika 5.21. Povećanje kiselosti vode



Slika 5.22. Eutrofikacija vode



Slika 5.23. Potrošnja vode



Slika 5.24. Korištenje resursa i neobnovljivih izvora energija te vađenje sirovina

Prilikom tumačenja rezultata potrebno je prepoznati moguće problematične stavke koje su temeljene na rezultatima LCI i LCIA dijelova analize. Za analizu su korišteni podaci koji se

nalaze u bazama podataka, a ostali potrebni podatci za analizu su procijenjeni (veličina narudžbe, transport).

Neke od problematičnih stavki su nabava i osiguravanje kvalitetnog i potrebnog materijala (vađenje, preradba i dostava sirovina) i emisije u okoliš (tlo, zrak, pitku vodu, morska nije uzeta u obzir zbog zemljopisnog položaja, a prema tome program nudi mogućnost izbora zemlje za koju se provodi analiza, za pojedine stavke ne postoji izbor Republike Hrvatske pa je odabrana SR Njemačka) kao posljedica proizvodnje, transporta i materijalne uporabe.

Navedene stavke nipošto ne znače kako samo one predstavljaju negativan utjecaj na okoliš, na okoliš utječu i ostale stavke koje su ponuđene i imaju manji utjecaj od navedenih dok poneke uopće nemaju utjecaj jer fizikalno nisu moguće.

Provedenom analizom dobiveno je kako od tri odabrana i analizirana proizvoda najveći utjecaj na okoliš ima PET bočica. Iako prema slikama 5.13 – 5.24 u pojedinim kategorijama utjecaja dobivene vrijednosti nisu značajno različite zbog donekle sličnog životnog vijeka (životni vijek je različit u proizvodnom postupku, materijalu, utrošenoj energiji, načinu materijalne uporabe), kod utjecaja na globalno zagrijavanje i smanjenje ozonskog sloja PET bočica ima niži utjecaj od ostalih analiziranih, a kod potrošnje vode te štetnih emisija u tlo i vodu te povećanja kiselosti istih ima viši utjecaj od ostalih. Iako je PET cijenom skuplji od ostala dva analizirana i uspoređivana materijala za izradbu te prema priloženom posjeduje veći utjecaj na okoliš ipak je PET jedan od zastupljenih ambalažnih materijala. Jedna od bitnih prednosti je prozirnost koja se ne može postići kod ostala dva materijala. Najmanji utjecaj od promatranih proizvoda pokazuje PP bočica.

6. ZAKLJUČAK

Procjena utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš postaje sve bitnija značajka prilikom izradbe novog proizvoda ili poboljšavanja postojećeg. Teži se sakupljanju i obradbi čim većeg broja informacija i širenju baze podataka kako bi se dobio što dublji i kvalitetniji uvid u postupak.

Osnova LCA analize je donošenje proizvodno-poslovne odluke usmjerene na najmanje moguće opterećenje okoliša, što ima za posljedicu smanjenje potrošnje energije, sirovina i količine stvorenog otpada. Iako postaje sve važnijim alatom za proučavanje i smanjenje utjecaja na okoliš, ne sadrži ekonomske i društvene čimbenike koji su počesto jako bitni.

Iako provedena analiza ima svojih nedostataka, korištena je probna inačica računalnog programa koja ima ograničen pristup potpunoj bazi podataka, procesa i materijala, a samim time dobiveni su i rezultati koji ne pokazuju sav doprinos kategorija utjecaja na životni vijek. Od odabranih proizvoda najmanji utjecaj na okoliš ima PP bočica, iako su razlike između pojedinih kategorija utjecaja male, što dokazuje i ranije pretpostavke o tome kako pojedine faze proizvodnog postupka imaju veći utjecaj (proizvodnja i nabava sirovina, sama izradba proizvoda, transport), a sam životni vijek je različit u proizvodnom postupku, materijalu, utrošenoj energiji, načinu materijalne uporabe.

Provedenom analizom dobiveno je kako od tri odabrana i analizirana proizvoda najveći utjecaj na okoliš ima PET bočica. Iako je PET cijenom skuplji od ostala dva analizirana i uspoređivana materijala za izradbu te prema priloženom posjeduje veći utjecaj na okoliš ipak je PET jedan od zastupljenih ambalažnih materijala. Jedna od bitnih prednosti je prozirnost koja se ne može postići kod ostala dva materijala.

Premda LCA analiza postaje sve važnijom, ona posjeduje i određene nedostatke. Za provesti uspješnu analizu potrebno je sakupiti i matematički obraditi veliki broj podataka te posjedovati računalne alate koji posjeduju baze podataka koje se svakim danom nadopunjuju. Nedostatci su također i razlike između područja za kojih se provode procjene, od navike potrošača, načinu prijevoza (stanje i vremenski uvjeti na prometnicama), opskrbe energijom, gospodarenja otpadom.

LITERATURA

- [1] *Life cycle assessment*, scp.eionet.europa.eu/themes/lca, 2.3.2015.
- [2] *Life cycle assessment*, www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html, 2.3.2015.
- [3] *Life cycle assessment*,
www.unep.org/resourceefficiency/Consumption/StandardsandLabels/MeasuringSustainability/LifeCycleAssessment/tabid/101348/Default.aspx, 2.3.2015.
- [4] Rujnić-Sokele, M.: *Proizvodnja plastične ambalaže-skripte za predavanja, 3.dio*, FSB, Zagreb, 2013.
- [5] *Ecolabel*, ec.europa.eu/environment/ecolabel/index_en.htm, 2.3.2015.
- [6] *LCA*, www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/13598541211212924, 2.3.2015.
- [7] *LCA*,
www.researchgate.net/publication/227652666_Book_Review_Life_Cycle_Assessment_Principles_Practice_and_Prospects_Horne_R_Grant_T_Verghese_K, 2.3.2015.
- [8] *Povijest LCA*, www.epa.gov/nrmrl/std/lca/pdfs/Issue20report20No206.pdf, 2.3.2015.
- [9] *Povijest LCA*, www.pe-international.com/company/newsroom/news-detail/article/a-brief-history-of-life-cycle-assessment-lca/, 2.3.2015
- [10] *Povijest LCA*, www.avnir.org/documentation/presentation/klopffer.pdf, 2.3.2015.
- [11] *ISO*, www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en, 2.3.2015.
- [12] *ISO*, media.leidenuniv.nl/legacy/new-dutch-lca-guide-part-1.pdf, 2.3.2015.
- [13] *ISO*, web.stanford.edu/class/cee214/Readings/ISOLCA.pdf, 2.3.2015.
- [14] *ISO*, www.pre-sustainability.com/download/Life-Cycle-Based-Sustainability-Standards-Guidelines.pdf, 2.3.2015.
- [15] *ISO*, apo-ecoproducts.com/environmental/index.html, 2.3.2015.
- [16] *ISO*,
www.ecosmes.net/cm/navContents?l=EN&navID=envProductIntro&subNavID=1&pageID=1, 2.3.2015.
- [17] *Primjena LCA*, www.coursera.org/course/introtolca, 2.3.2015.
- [18] *Primjena LCA*, www.belkorp.ca/Dr_Morris_Report.pdf, 2.3.2015.
- [19] *Primjena LCA*, engineering.dartmouth.edu/~d30345d/courses/engs171/LCA.pdf, 9.3.2015.

-
- [20] *Primjena LCA*, www.utexas.edu/research/ceer/esm282/dfe/LCAoverview.PDF, 9.3.2015.
- [21] *Izradba LCA*, www.epa.gov/nrmrl/std/lca/pdfs/chapter1_frontmatter_lca101.pdf, 9.3.2015.
- [22] *Izradba LCA*, sftool.gov/plan/400/life-cycle-assessment-lca-overview, 9.3.2015.
- [23] *Izradba LCA*, www.linkcycle.com/beginners-guide-life-cycle-assessment-tools-and-data/, 9.3.2015.
- [24] *Izradba LCA*, www.greenbiz.com/blog/2011/04/25/how-undertake-life-cycle-assessment-your-products-and-services, 9.3.2015.
- [25] Čorluka, Ž.: *Utjecaj životnog vijeka proizvodna na okoliš*, završni rad, FSB, 2010.
- [26] *Izradba LCA*, nbis.org/nbisresources/life_cycle_assessment_thinking/guide_life_cycle_assessment_bc_orp.pdf, 9.3.2015.
- [27] *Izradba LCA*, www.isa.utl.pt/der/ASAmb/DocumentosAulas/Recipe/Handbook%20on%20Life%20Cycle%20Assessment.pdf, 9.3.2015.
- [28] Drašković, H.: *Procjena okolišnog utjecaja životnog vijeka energetskog transformatora*, završni rad, FSB, 2014.
- [29] *LCA alati*, www.ecosmes.net/cm/navContents?l=EN&navID=lcaSmesStandardReg&subNavID=3&pagID=1&flag=1, 21.3.2015.
- [30] *SimaPro*, www.pre-sustainability.com/download/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf, 21.3.2015.
- [31] *EcoInvent*, www.ecoinvent.org/database/, 21.3.2015.
- [32] *EcoInvent*, www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/presentation_papers/SETAC_2014/G_Wernet_intro_to_ecoinvent_v3_140516.pdf, 21.3.2015.
- [33] *EcoInvent*, www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/Data_Quality_Guidelines/01_DataQuality_Guideline_v3_Final.pdf, 21.3.2015.
- [34] *EcoInvent*, www.ecoinvent.ch, 21.3.2015.
- [35] *IMPACT2002+*, www.quantis-intl.com/pdf/IMPACT2002_UserGuide_for_vQ2.21.pdf, 21.3.2015.

-
- [36] *PP bočica*, www.alibaba.com/product-detail/250-300ml-plastic-shampoo-bottle-plastic_250951790.html, 20.6.2015.
- [37] *PE HD bočica*, www.alibaba.com/product-detail/200-400ml-PE-shampoo-bottle-plastic_250677607.html, 20.6.2015.
- [38] *PET bočica*, bettercospack.en.alibaba.com/product/682893494-215081352/wholesale_plastic_hair_shampoo_bottle.html, 20.6.2015.
- [39] Šipković, M.: *Plastična ambalaža*, diplomski rad, FSB, 2009.
- [40] Rujnić-Sokele, M.: *Proizvodnja plastične ambalaže-skripte za predavanja*, 6.dio, FSB, Zagreb, 2013.
- [41] *Stroj za ekstruzijsko puhanje*, en.machine-catalog.com/adsl/Outer_ec_catalog/73/03/3-2.htm, 20.6.2015
- [42] Rujnić-Sokele, M.: *Proizvodnja plastične ambalaže-skripte za predavanja*, 7.dio, FSB, Zagreb, 2013
- [43] *NN 107/03*, narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/305993.html, 20.6.2015.
- [44] *NN 178/2004*, narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/313723.html, 20.6.2015.
- [45] *NN 60/2008*, narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/339525.html, 20.6.2015.
- [46] *Gabi*, www.gabi-software.com/support/gabi-learning-center/gabi-6-learning-center/part-1-lca-and-introduction-to-gabi/, 20.6.2015.